



**TUGAS AKHIR - TM141585**

**STUDI EKSPERIMEN DAN ANALISA ENERGI LISTRIK  
YANG DIHASILKAN OLEH MEKANISME PROTOTIPE  
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GELOMBANG LAUT  
TIPE PENGUNGKIT DENGAN VARIASI TITIK TUMPU  
LENGAN PENGUNGKIT DAN MASSA PELAMPUNG**

**ARIF PRADIPTA MARIS  
NRP. 2112 106 003**

**Dosen Pembimbing  
Dr. Wiwiek Hendrowati, ST., MT.**

**JURUSAN TEKNIK MESIN  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2015**



**FINAL PROJECT - TM141585**

**EXPERIMENTAL STUDY AND ANALYSIS OF  
ELECTRIC ENERGY GENERATED BY PROTOTYPE  
MECHANISM OF OCEAN WAVE POWER PLANT  
LEVERS TYPE WITH VARIATIONS LEVER ARM  
FULCRUM AND MASS OF BUOYS**

**ARIF PRADIPTA MARIS  
NRP. 2112 106 003**

**Academic Supervisor  
Dr. Wiwiek Hendrowati, ST., MT.**

**MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT  
Faculty of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2015**

**STUDI EKSPERIMEN DAN ANALISA ENERGI LISTRIK  
YANG DIHASILKAN OLEH MEKANISME PROTOTIPE  
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GELOMBANG LAUT  
TIPE PENGUNGKIT DENGAN VARIASI TITIK TUMPU  
LENGAN DAN MASSA PELAMPUNG**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar  
Sarjana Teknik pada Bidang Studi Sistem Dinamis dan Vibrasi  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh :

**ARIF PRADIPTA MARIS**  
NRP. 2112 106 003

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. <u>Dr. Wiwiek Hendrowati, ST., MT</u> (NIP. 197004121997032003)	 ..... (Pembimbing)
2. <u>Dr. Eng Harus Laksana Guntur ST., M. Eng</u> (NIP. 197505111999031001)	 ..... (Penguji I)
3. <u>Moch Solichin ST., MT</u> (NIP. 2100201405003)	 ..... (Penguji II)
4. <u>Ir. Yunarko Triwinarno, MT</u> (NIP. 195106031976031002)	 ..... (Penguji III)

**SURABAYA**  
**JANUARI 2015**

# **Studi Eksperimen Dan Analisa Energi Listrik Yang Dihasilkan Oleh Mekanisme Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Tipe Pengungkit Dengan Variasi Titik Tumpu Lengan Pengungkit Dan Massa Pelampung**

**Nama Mahasiswa** : Arif Pradipta Maris  
**NRP** : 2112. 106. 003  
**Jurusan** : Teknik Mesin FTI – ITS  
**Dosen Pembimbing** : Dr. Wiwiek Hendrowati, ST., MT.

Persediaan energi tidak terbarukan (energi fosil) di bumi semakin menipis tiap waktunya. Oleh karena itu perlu adanya energi alternatif agar tidak terlalu menggantungkan kebutuhan pada energi fosil tersebut, cara yang digunakan ialah dengan memanfaatkan energi yang terbarukan. Salah satu sumber energi terbarukan tersebut ialah energi gelombang laut, dimana sumber energi ini memiliki prospek yang bagus untuk dikembangkan di negara-negara maritim seperti di negara Indonesia ini. Salah satu pemanfaatan gelombang laut ialah dapat dijadikan teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut.

Pada tugas akhir ini didesain suatu prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGGL) tipe Pengungkit untuk skala laboratorium. Pembahasan dari tugas akhir ini dititikberatkan pada studi eksperimen pengaruh titik tumpu lengan pengungkit dan massa pelampung terhadap energi listrik yang dihasilkan. Dimana amplitudo dan frekuensi gelombang air yang mengenai pelampung akan menyebabkan gerakan naik turun (pitching) pada lengan pengungkit yang terhubung dengan magnet dan kumparan sehingga menghasilkan listrik dengan prinsip gaya gerak listrik (ggl).

Tugas akhir ini menghasilkan karakteristik energi listrik optimum (paling besar) yang dihasilkan prototipe PLTGGL Tipe Pengungkit akibat adanya pengaruh variasi titik tumpu lengan pengungkit dan massa pelampung. Nilai daya terbesar ialah pada titik tumpu 4 atau berjarak  $\frac{2}{8}$  dari magnet dengan menggunakan massa pelampung 0,363 kg

yaitu sebesar 4,5283 mW dengan voltase RMS 1.1321 volt dan efisiensi sebesar 0,988 %.

**Kata Kunci: Gelombang laut, PLTGL, tipe pengungkit, lengan pengungkit, massa pelampung**

# **Experimental Study And Analysis Of Electric Energy Generated By Prototype Mechanism Of Ocean Wave Power Plant Levers Type With Variations Lever Arm Fulcrum And Mass Of Buoys**

Name : Arif Pradipta Maris  
NRP : 2112.106.003  
Major : Teknik Mesin FTI – ITS  
Supervisor : Dr. Wiwiek Hendrowati, ST., MT.

## **ABSTRACT**

Stocks of non-renewable energy (fossil fuels) in the earth's are running low of each time. Therefore, need for an alternative energy in order not too depend on fossil energy, the way is to take advantage of renewable energy. One of the sources of renewable energy is the ocean waves energy, where the source of this energy has good prospects for development in maritime nations such as Indonesia. One of the advantages is the ocean waves can be used for Ocean Wave Power Plant technology.

In this final project designed a prototype of Ocean Wave Power Plant (PLTGL) Levers Type for the laboratory scale. The discussion of this final project is focused on the influence of experimental studies the lever arm fulcrum and mass of buoys on electrical energy generated. Where the amplitude and frequency of the water waves on the buoy will cause the up or down motion (pitch) on the lever arm which is connected with magnets and coils that produce electricity with the principle of electromotive force (emf)..

This final project produce the optimum electrical energy characteristics (most) generated by prototype PLTGL Levers Type due to the influence of variations in the lever arm fulcrum and mass

of buoys. The greatest power on fulcrum 4 or within  $2/8$  of the magnet by using mass of buoys 0.363 kg is equal to 4.5283 mW with 1.1321 volts RMS voltage and efficiency of 0.988%.

**Key Word: Ocean waves, PLTGL, levers type, levers arm, mass of buoys.**

## KATA PENGANTAR

Segala Puji dan Syukur penulis curahkan sepenuhnya kepada Allah SWT, karena atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya tugas akhir ini dapat terselesaikan. Penulis sangat menyadari bahwa keberhasilan dalam penulisan tugas akhir ini tak lepas dari dukungan dan bantuan berbagai pihak. Melalui kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah banyak membantu dan mendukung baik secara moril maupun materil dalam proses penyelesaian tugas akhir ini, antara lain:

1. Ibu Dr. Wiwiek Hendrowati, ST., MT. selaku dosen pembimbing tugas akhir yang selalu memberikan saran, motivasi, dan ilmu-ilmu yang sangat bermanfaat bagi penulis. Terima kasih atas kesabarannya selama membimbing penulis.
2. Ibunda tercinta Tati Suhati dan Ayahanda tercinta Sutadi yang senantiasa memberikan doa, dorongan semangat dan moril bagi penulis untuk terus berusaha menuntut ilmu semoga Allah SWT selalu memberikannya rahmat serta hidayah nya.
3. Bapak Dr. Eng. Harus Laksana Guntur, ST., M.Eng, Moch. Solichin, ST., MT, dan Ir. Yunarko Triwinarno, MT selaku dosen penguji proposal tugas akhir dan tugas akhir penulis, terima kasih atas saran-saran yang telah diberikan.
4. Bapak Prof. Ir. Sutardi, M.Eng. PhD selaku Dosen wali penulis, terima kasih atas kebaikan, perhatian, dan saran-saran yang telah bapak berikan selama ini.
5. Bapak Ir. Bambang Pramujati, MSc.Eng. PhD selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin yang telah memberikan motivasi dan dukungan kepada penulis untuk segera menyelesaikan studinya.



6. Seluruh Dosen dan karyawan jurusan Teknik Mesin ITS.
7. Adikku Fikri Adhi Nugaha yang telah memberikan semangat yang luar biasa.
8. Keluarga besar penulis yang senantiasa memberikan doa dan dukungannya kepada penulis sehingga penulis bisa menyelesaikan tugas akhir ini.
9. Rekan – rekan tim Ocean Wave Energy Agung, Andro, Doni, Wawan, Deni, Jemy dan Santoso yang sama – sama berjuang dan saling bahu membahu menyelesaikan Tugas akhir ini.
10. Rekan - rekan lintas jalur Teknik Mesin ITS angkatan tahun 2012 Genap, yang senantiasa memberikan semangat dan bantuan ketika penulis membutuhkan, terima kasih atas bantuannya dan mari kita jaga persahabatan dan persaudaraan yang telah berjalan.
11. Imam, Ihsan, serta rekan-rekan kos yang sering membantu dan memberi semangat penulis selama ini.
12. Teman-teman lab. Sistem Dinamis dan Vibrasi terima kasih atas doa dan dukungannya.
13. Seluruh civitas akademik Teknik Mesin ITS.
14. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan oleh penulis.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan tugas akhir ini, oleh karena itu saran dan masukan dari semua pihak sangat penulis harapkan. Penulis berharap semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat dan sumbangsih bagi perkembangan ilmu pengetahuan.

Surabaya, Januari 2015

**Penulis**

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>JUDUL TUGAS AKHIR</b>	
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b>	
<b>ABSTRAK</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	iii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	v
<b>DAFTAR ISI</b> .....	vii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	ix
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xi
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	3
1.4 Tujuan Penelitian .....	4
1.5 Manfaat Penelitian .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI</b> .....	5
2.1 Tinjauan Pustaka .....	5
2.2 Dasar Teori Gelombang Laut .....	7
2.2.1 Definisi Gelombang Laut .....	7
2.2.2 Proses Terjadinya Gelombang Laut .....	7
2.2.3 Analisa Gaya Pada Gelombang Laut .....	10
2.2.3.1 <i>Wave Force</i> .....	10
2.2.3.2 <i>Bouyancy Force</i> .....	11
2.2.3.3 <i>Generated Force</i> .....	11
2.3 Dasar Teori Mekanika Getaran .....	12
2.3.1 Amplitudo .....	13
2.3.2 Frekuensi .....	13
2.4 Dasar Teori Elektromagnetik .....	13
2.4.1 Induksi Magnet .....	13
2.5 Analisa Gaya Pada Mekanisme .....	15
2.5.1 Posisi Titik Tumpu 1 .....	15
2.5.1.1 Analisa Pada Magnet .....	18
2.5.1.2 Analisa Gaya yang Dihasilkan Gelombang Laut .....	19
2.5.1.3 Analisa Respon Massa Magnet .....	20
2.5.2 Posisi Titik Tumpu 2 .....	20

2.5.3	Posisi Titik Tumpu 3 .....	23
2.5.4	Posisi Titik Tumpu 4 .....	25
<b>BAB III</b>	<b>METODE PENELITIAN .....</b>	<b>27</b>
3.1	Diagram Alir Penelitian Tugas Akhir .....	27
3.2	Tahapan Pengerjaan Tugas Akhir .....	28
3.2.1	Studi Literatur .....	28
3.2.2	Identifikasi Masalah .....	28
3.2.3	Perancangan Mekanisme .....	28
3.2.4	Tahap Pengujian .....	31
3.2.5	Peralatan Pengujian .....	31
3.2.6	Pengambilan Data .....	33
3.2.6.1	Diagram Alir Pengambilan Data .....	33
3.2.6.2	Format Lembar Hasil Pengambilan Data .....	35
3.2.7	Analisa dan Pengolahan Data .....	35
<b>BAB IV</b>	<b>ANALISA DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>37</b>
4.1	<i>Prototype</i> Simulator PLTGL Tipe Pengungkit .....	37
4.2	Analisa Teoritis .....	39
4.2.1	Contoh Perhitungan .....	39
4.2.2	Pengaruh Variasi Terhadap Energi Listrik .....	41
4.3	Analisa Eksperimen .....	42
4.3.1	Variasi Titik Tumpu 1 (T1) .....	42
4.3.2	Variasi Titik Tumpu 2 (T2) .....	43
4.3.3	Variasi Titik Tumpu 3 (T3) .....	44
4.3.4	Variasi Titik Tumpu 4 (T4) .....	45
4.3.5	Analisa Data Variasi Titik Tumpu dan Massa Pelampung .....	46
4.4	Perbandingan Eksperimen dan Teoritis .....	48
4.4.1	Data Eksperimen vs Data Teoritis .....	49
4.5	Effisiensi Mekanisme .....	51
4.6	Skala Mekanisme .....	52
<b>BAB V</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>55</b>
5.1	Kesimpulan .....	55
5.2	Saran .....	55
	<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>57</b>
	<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR TABEL

Tabel 1.1	Perbandingan energi gelombang laut, angin dan matahari ...	1
Tabel 3.1	Contoh Tabel Data Hasil Pengujian .....	35
Tabel 4.1	Tabel Daya Teoritis pengaruh Variasi.....	41
Tabel 4.2	Tabel Data Eksperimen Variasi Titik Tumpu dan Massa Pelampung.....	47
Tabel 4.3	Tabel Data Teoritis vs Eksperimen .....	49
Tabel 4.4	Tabel Data Effisiensi Variasi .....	51
Tabel 4.5	Tabel Skala Mekanisme .....	53

**[Halaman ini sengaja dikosongkan]**

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Konsep Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut dengan Model Skala 1 :40.....	5
Gambar 2.2.	Konsep Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut dengan Model Skala 1 :10.....	6
Gambar 2.3	Konsep Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut dengan Model Skala 1 : 2.....	6
Gambar 2.4	Ilustrasi pergerakan partikel zat cair pada gelombang .	7
Gambar 2.5	Proses pembentukan gelombang akibat angin .....	8
Gambar 2.6	Karakteristik ombak.....	9
Gambar 2.7	(a) Benda Terapung, (b) Benda Melayang, (c) Benda Tenggelam .....	11
Gambar 2.8	Analisa gaya yang dihasilkan pelampung.....	12
Gambar 2.9	Gerakan pada bandul.....	13
Gambar 2.10	Gerak magnet dalam kumparan .....	14
Gambar 2.11	Diagram Gaya Keseimbangan Statis Posisi Titik Tumpu 1 .....	16
Gambar 2.12	Diagram Gaya Keseimbangan Dinamis Posisi Titik Tumpu 1 .....	17
Gambar 2.13	Diagram Gaya Keseimbangan Statis Posisi Titik Tumpu 2.....	21
Gambar 2.14	Diagram Gaya Keseimbangan Dinamis Posisi Titik Tumpu 2.....	22
Gambar 2.15	Diagram Gaya Keseimbangan Statis Posisi Titik Tumpu 3 .....	23
Gambar 2.16	Diagram Gaya Keseimbangan Dinamis Posisi Titik Tumpu 3.....	24
Gambar 2.17	Diagram Gaya Keseimbangan Statis Posisi Titik Tumpu 4.....	25
Gambar 2.18	Diagram Gaya Keseimbangan Dinamis Posisi Titik Tumpu 4.....	26
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian .....	27
Gambar 3.2	Prototipe Pengungkit.....	29
Gambar 3.3	Pelampung .....	29
Gambar 3.4	<i>Housing</i> .....	30
Gambar 3.5	<i>Slider</i> .....	30

Gambar 3.6	Magnet dan Kumparan.....	31
Gambar 3.7	Lengan Pengungkit .....	31
Gambar 3.8	Kolam .....	32
Gambar 3.9	PLTGL Tipe Pengungkit.....	32
Gambar 3.10	<i>Digital Storage Oscilloscope</i> .....	33
Gamba 3.11	Diagram alir pengambilan data .....	34
Gambar 4.1	Simulator PLTGL Sistem Pengungkit .....	37
Gambar 4.2	Data Percobaan pada <i>Oscilloscope</i> .....	38
Gambar 4.3	Analisa Gaya pada Mekanisme.....	39
Gambar 4.4	Grafik Daya Teoritis vs Variasi .....	42
Gambar 4.5	Grafik Variasi Titik Tumpu (T1) .....	43
Gambar 4.6	Grafik Variasi Titik Tumpu (T2) .....	44
Gambar 4.7	Grafik Variasi Titik Tumpu (T3) .....	45
Gambar 4.8	Grafik Variasi Titik Tumpu (T4) .....	46
Gambar 4.9	Grafik Daya Eksperimen vs Variasi.....	48
Gambar 4.10	Grafik Perbandingan Daya Teoritis Vs Daya Eksperimen .....	50
Gambar 4.11	Grafik Perbandingan Effisiensi Variasi .....	52



## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kehidupan manusia sehari-hari tak bisa lepas dari kebutuhan akan energi. Konsumsi energi tersebut semakin hari akan semakin meningkat, sebagian besar energi yang digunakan manusia tersebut merupakan energi tidak terbarukan yang dihasilkan oleh bumi (energi fosil). Maka tidaklah heran bahwa persediaan energi tidak terbarukan tersebut semakin menipis tiap waktunya. Oleh karena itu perlu adanya energi alternatif agar tidak terlalu menggantungkan kebutuhan pada energi fosil tersebut, caranya ialah dengan memanfaatkan energi yang terbarukan, seperti panas matahari, angin, dan gelombang laut. Pada Tabel 1.1 dapat dilihat dari ketiga sumber energi terbarukan tersebut, energi gelombang laut memiliki prospek yang bagus untuk dikembangkan di negara-negara maritim seperti di negara Indonesia ini.

**Tabel 1.1** Perbandingan energi gelombang laut, angin dan matahari  
([http://www.oceanpowertechnologies.com/pdf/senate\\_hearing\\_paper.pdf](http://www.oceanpowertechnologies.com/pdf/senate_hearing_paper.pdf))

Tipe	Kerapatan Energi	Prediksi	Ketersediaan	Kawasan potensial
Energi gelombang laut	Tinggi	Dapat diprediksikan di banyak tempat	80 – 90 %	Tidak terbatas
Energi angin	Rendah	Tidak dapat diprediksi – kecuali di tempat-tempat terbatas	20 – 30 %	Sangat terbatas
Energi matahari	Rendah	Tidak dapat diprediksi – kecuali di beberapa tempat	20 – 30 %	Di beberapa kawasan

Energi gelombang laut adalah energi yang dihasilkan dari pergerakan gelombang laut menuju daratan dan sebaliknya serta salah satu bentuk energi yang bisa dimanfaatkan dengan mengetahui tinggi gelombang, panjang gelombang, dan periode waktunya. Pada dasarnya





pergerakan laut yang menghasilkan gelombang laut terjadi akibat dorongan pergerakan angin. Angin timbul akibat perbedaan tekanan pada dua titik yang diakibatkan oleh respon pemanasan udara oleh matahari yang berbeda di kedua titik tersebut. Mengingat sifat tersebut maka energi gelombang laut dapat dikategorikan sebagai energi terbarukan. Indonesia yang memiliki luas lautan tiga kali lebih besar dari luas daratannya, mempunyai potensi sangat besar untuk mengembangkan energi ini.

Pada dasarnya prinsip kerja teknologi yang digunakan dalam mengkonversi energi gelombang laut menjadi energi listrik adalah mengakumulasi energi gelombang laut untuk memutar turbin generator. Karena itu, sangat penting memilih lokasi yang secara topografi memungkinkan akumulasi energi. Meskipun demikian penelitian untuk mendapatkan teknologi yang optimal dalam mengonversi energi gelombang laut masih terus dilakukan.

Pada tugas akhir ini dibahas tentang pemanfaatan gelombang laut menjadi energi listrik dalam skala laboratorium dengan tipe pengungkit sebagai *wave energy conversion*. Mekanisme ini bekerja dari gaya yang berasal dari gelombang laut dan dikonversikan melalui alat yang menyerupai pengungkit dimana disalah satu sisi pengungkit tersebut terdapat pelampung yang akan bergerak naik turun akibat gelombang laut dan disisi lainnya terdapat magnet yang terhubung dengan kumparan yang akan menghasilkan energi listrik sesuai dengan prinsip gaya gerak listrik (ggl). Tentunya listrik yang dihasilkan oleh mekanisme ini nantinya hanya berskala laboratorium sesuai dengan perhitungan yang digunakan.

## 1.2 Perumusan Masalah

Dari latar belakang diatas, maka perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang alat dan mekanisme pembangkit listrik tenaga gelombang laut (PLTGL) tipe pengungkit sebagai *wave energy conversion*. Disalah satu sisi pengungkit tersebut terdapat pelampung yang memiliki massa tertentu yang akan bergerak naik turun jika terkena gelombang laut dan akan menggerakkan pengungkit yang memiliki titik tumpu lengan tertentu. Bersamaan dengan naik turunnya pengungkit tersebut akan menggerakkan magnet yang terdapat disisi lainnya sehingga



akan menghasilkan listrik saat terkena kumparan kawat akibat prinsip gaya gerak listrik. Gerakan magnet ini akan dipengaruhi oleh peletakan titik tumpu dan massa pelampung sebagai pemberat. Titik tumpu mempengaruhi terhadap momen inersia yang terjadi, dimana arak titik tumpu yang semakin dekat dari magnet akan menghasilkan momen inersia yang kecil sehingga menghasilkan kecepatan yang relatif cepat dan listrik yang dihasilkan semakin besar. Massa pelampung mempengaruhi terhadap kecepatan gerak pengungkit, semakin ringan massa pelampung maka kecepatan gerak akan semakin cepat sehingga listrik yang dihasilkan akan semakin besar.

Dari uraian diatas, maka permasalahan pada penelitian ini adalah :

1. Bagaimana desain dan mekanisme pengungkit sebagai *wave energy conversion* yang mampu menghasilkan energi listrik dalam skala laboratorium ?
2. Bagaimana pengaruh antara titik tumpu lengan pengungkit dan massa pelampung terhadap energi listrik yang dihasilkan dalam skala laboratorium ?

### 1.3 Batasan Masalah

Dari permasalahan diatas, maka pada penelitian ini dibatasi sebagai berikut :

1. Pengungkit sebagai *wave energy conversion* beserta pengujian yang dilakukan pada penelitian ini hanya untuk skala laboratorium.
2. Gelombang air yang dibuat dianggap konstan pada setiap variasi amplitudo dan frekuensi.
3. Gelombang air yang terjadi merupakan gelombang yang merambat ke satu arah.



#### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mendesain dan membangun mekanisme pengungkit sebagai *wave energy conversion* yang mampu menghasilkan energi listrik dalam skala laboratorium.
2. Mengetahui pengaruh titik tumpu lengan pengungkit dan massa pelampung terhadap energi listrik yang dihasilkan dalam skala laboratorium.

#### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penulisan tugas akhir ini adalah :

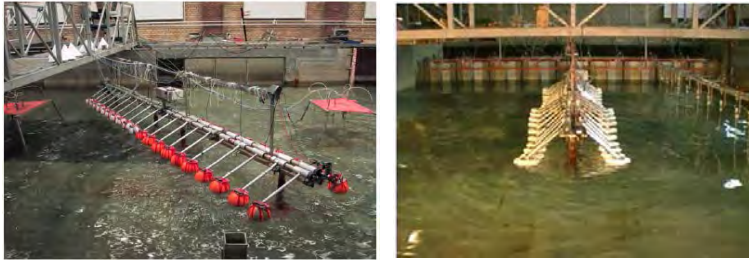
1. Mampu mengetahui desain pengungkit sebagai *wave energy conversion* yang efektif sehingga dapat menghasilkan listrik yang optimal.
2. Mendapatkan energi listrik dari pemanfaatan energi gelombang laut dalam skala laboratorium.
3. Sebagai acuan untuk penelitian lebih lanjut dalam skala yang sebenarnya.



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

### 2.1 Tinjauan Pustaka

Pembangkit listrik tenaga gelombang laut dikembangkan oleh *Wave Star Energy Corp* sebuah perusahaan yang didirikan di Denmark pada tahun 2003, mengembangkan salah satu pembangkit listrik dengan menggunakan pelampung ( *heavy buoy* ) yang telah dibuat prototipe dan telah dipasang dilaut. Pengembangan dilakukan secara bertahap dimulai dengan skala model pada tahun 2004 – 2005, dilakukan studi numerikal atau pemodelan kemudian dengan model skala 1:40 ( bisa dilihat pada Gambar 2.1) dilakukan di Aalborg University, Department of Civil Engineering.



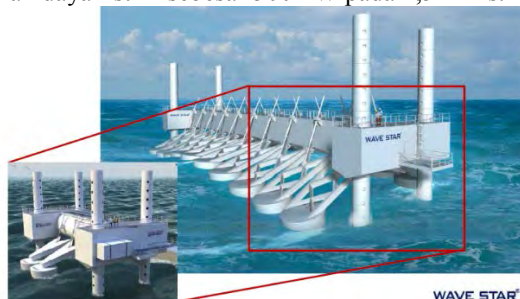
**Gambar 2.1.** Konsep Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut dengan Model Skala 1 :40

Pada tahun 2006 – 2008 dilakukan dengan model skala yang lebih besar yaitu 1 :10 dilakukan di Nissum Bredning ( bisa dilihat pada Gambar 2.2). Memiliki panjang 24 meter terdiri dari 40 pelampung dengan diameter pelampung 1 meter. Mekanisme memanfaatkan gerakan naik turun dari sistem pelampung, dimana ketika pelampung turun mengisi ruangan silinder, ketika pelampung bergerak naik akan membuka katup ( *valve* ) untuk menggerakkan generator. Mekanisme dengan skala ini menghasilkan daya listrik sebesar 1800 pada 0,5 m Hs.



**Gambar 2.2.** Konsep Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut dengan Model Skala 1 : 10

Untuk skala 1 : 2 seperti yang terlihat pada gambar 2.3, memiliki panjang 120 m yang terdiri dari 40 pelampung dengan diameter 5 m. Mekanisme ini bekerja pada kedalaman 10 m di laut dalam dan mampu menghasilkan daya listrik sebesar 500 kW pada 2,5 m Hs.

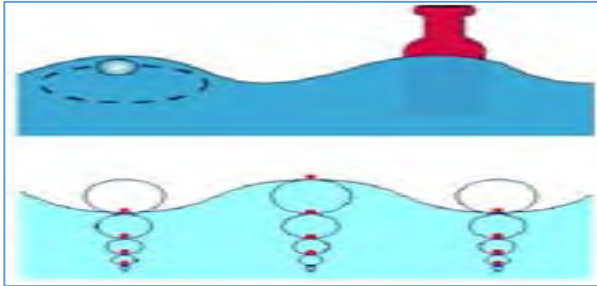


**Gambar 2.3.** Konsep Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut dengan Model Skala 1 : 2

## 2.2 Dasar Teori Gelombang Laut

### 2.2.1 Definisi Gelombang Laut

Gelombang laut adalah pergerakan naik dan turunnya air dengan arah tegak lurus permukaan air laut yang membentuk kurva/grafik sinusoidal. Gelombang laut disebabkan oleh angin. Angin di atas lautan mentransfer energinya ke perairan, menyebabkan riak-riak, alun/bukit, dan berubah menjadi apa yang kita sebut sebagai gelombang atau ombak.



**Gambar 2.4.** Ilustrasi pergerakan partikel zat cair pada gelombang (<http://navale-engineering.blogspot.com/2013/02/definisi-gelombang-laut.html>)

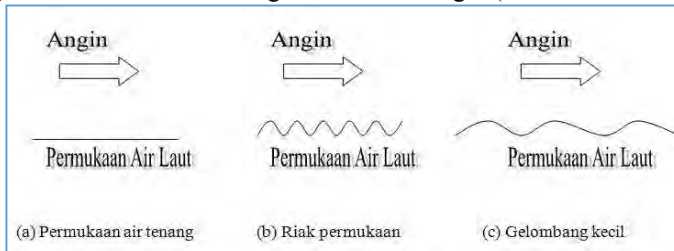
Sebenarnya pelampung bergerak dalam suatu lingkaran (*orbital*) ketika gelombang bergerak naik dan turun. Pada Gambar 2.4 dilihat bahwa partikel air berada dalam satu tempat, bergerak di suatu lingkaran, naik dan turun dengan suatu gerakan kecil dari sisi satu kembali ke sisi semula. Gerakan ini memberi gambaran suatu bentuk gelombang. Pelampung yang mengapung di air pindah ke pola yang sama, naik turun di suatu lingkaran yang lambat, yang dibawa oleh pergerakan air.

Di bawah permukaan, gerakan berputar gelombang itu semakin mengecil. Ada gerak orbital yang mengecil seiring dengan kedalaman air, sehingga kemudian di dasar hanya akan meninggalkan suatu gerakan kecil mendatar dari sisi ke sisi yang disebut “*surge*”.

### 2.2.2 Proses Terjadinya Gelombang Laut

Proses terbentuknya pembangkitan gelombang di laut oleh gerakan angin belum sepenuhnya dapat dimengerti, atau dapat dijelaskan secara terperinci. Tetapi menurut perkiraan, gelombang terjadi karena hembusan angin secara teratur, terus-menerus, di atas permukaan air laut.

Hembusan angin yang demikian akan membentuk riak permukaan, yang bergerak kira-kira searah dengan hembusan angin (lihat Gambar 2.5).



**Gambar 2.5.** Proses pembentukan gelombang akibat angin  
(<http://navale-engineering.blogspot.com/2013/02/proses-pembangkitan-gelombang-di-laut.html>)

Bila angin masih terus berhembus dalam waktu yang cukup panjang dan meliputi jarak permukaan laut (*fetch*) yang cukup besar, maka riak air akan tumbuh menjadi gelombang. Pada saat yang bersamaan, riak permukaan baru akan terbentuk di atas gelombang yang terbentuk, dan selanjutnya akan berkembang menjadi gelombang – gelombang baru tersendiri. Proses yang demikian tentunya akan berjalan terus menerus (kontinyu), dan bila gelombang diamati pada waktu dan tempat tertentu, akan terlihat sebagai kombinasi perubahan-perubahan panjang gelombang dan tinggi gelombang yang saling bertautan. Komponen gelombang secara individu masih akan mempunyai sifat-sifat seperti gelombang pada kondisi ideal, yang tidak terpengaruh oleh gelombang-gelombang lain. Sedang dalam kenyataannya, sebagai contoh, gelombang-gelombang yang bergerak secara cepat akan melewati gelombang-gelombang lain yang lebih pendek (lamban), yang selanjutnya mengakibatkan terjadinya perubahan yang terus-menerus bersamaan dengan gerakan gelombang-gelombang yang saling melampaui.

Sebuah gelombang terdiri dari beberapa bagian antara lain:

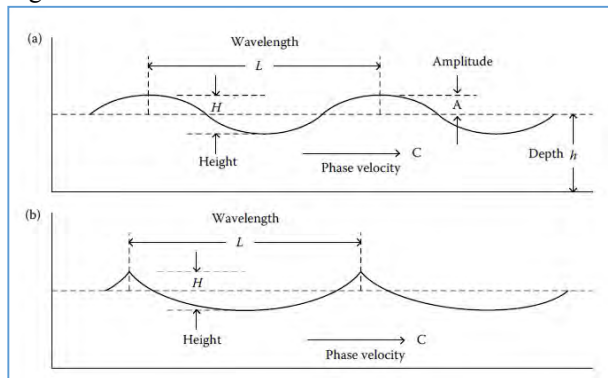
- Puncak gelombang (*Crest*) adalah titik tertinggi dari sebuah gelombang.
- Lembah gelombang (*Trough*) adalah titik terendah gelombang, diantara dua puncak gelombang.
- Panjang gelombang (*Wave length*) adalah jarak mendatar antara dua puncak gelombang atau antara dua lembah gelombang.

- d. Tinggi gelombang (*Wave height*) adalah jarak tegak antara puncak dan lembah gelombang.
- e. Periode gelombang (*Wave period*) adalah waktu yang diperlukan oleh dua puncak gelombang yang berurutan untuk melalui satu titik.

Bhat (1978), Garisson (1993), dan Gross (1993) mengemukakan bahwa ada 4 bentuk besaran yang berkaitan dengan gelombang. Yakni :

- a. Amplitudo gelombang ( $A$ ) adalah jarak antara puncak gelombang dengan permukaan rata-rata air.
- b. Frekuensi gelombang ( $f$ ) adalah sejumlah besar gelombang yang melintasi suatu titik dalam suatu waktu tertentu (biasanya didefinisikan dalam satuan detik).
- c. Kecepatan gelombang ( $C$ ) adalah jarak yang ditempuh gelombang dalam satu satuan waktu tertentu.
- d. Kemiringan gelombang ( $H/L$ ) adalah perbandingan antara tinggi gelombang dengan panjang gelombang.

Bentuk fisik dari gelombang laut telah dijelaskan oleh Van Dorn In. Karakteristik terdapat dua karakteristik dari ombak yang dibedakan atas periodenya, pada gambar 2.6 dijelaskan dua tipe dari gelombang.



**Gambar 2.6.** Karakteristik ombak (Alireza K, 2010)





## 2.2.3 Analisa Gaya pada Gelombang Laut

### 2.2.3.1 Wave Force

Untuk mengetahui gaya ombak atau *wave force* ( $F_w$ ) yang terdapat pada gelombang, maka pertama harus mengetahui energi gelombang yang tersedia. Energi gelombang total adalah jumlah dari energi kinetik dan energi potensial. Total energi potensial dan energi kinetik dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$E = \frac{1}{2} \rho g A^2 \quad \dots(2.1)$$

Dengan :  $g$  = percepatan gravitasi ( $9,8 \text{ m/s}^2$ )  
 $\rho$  = densitas air ( $1000 \text{ kg/m}^3$ )  
 $A$  = amplitude gelombang (m)

Untuk mendapatkan rata – rata energi atau daya dari periode ombak, energi  $E$  dikalikan dengan kecepatan rambat gelombang,  $v_g$ .

$$v_g = \frac{L}{2T} \quad \dots(2.2)$$

Dengan keterangan  $T$  adalah periode gelombang (s) dan  $L$  adalah panjang gelombang (m)

$$P_w = \frac{1}{2} \rho g A^2 \frac{L}{2T} \quad \dots(2.3)$$

Jika periode gelombang dan panjang gelombang dihubungkan, sehingga

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \quad \dots(2.4)$$

Maka didapatkan :

$$P_w = \frac{\rho g A^2 T}{8\pi} \quad \dots(2.5)$$

Dengan menggunakan amplitude gelombang, daya ombak dapat juga dituliskan sebagai fungsi tinggi gelombang,  $H$ . sehingga persamaannya menjadi

$$P_w = \frac{\rho g^2 H^2 T}{32\pi} \quad \dots(2.6)$$

Dari persamaan 2.6 diatas, dapat diketahui gaya ombak yang dikonversikan oleh mekanisme pengungkit dengan rumusan sebagai berikut.

$$F_w = \frac{P_w}{c_g} \quad \dots(2.7)$$

Dimana  $c_g$  merupakan setengah kecepatan rambat suatu gelombang (c).  
Dengan persamaan



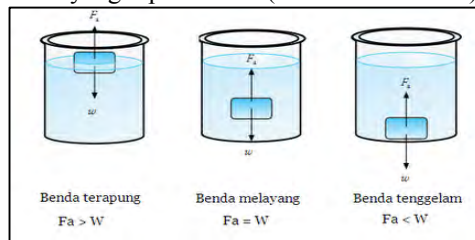
$$c = \frac{\lambda}{T} \quad \dots(2.8)$$

Keterangan :

$\lambda$  : panjang gelombang (m)  
 $T$  : periode gelombang (s)

### 2.2.3.2 *Bouyancy Force*

Gaya apung atau *bouyancy force* ( $F_b$ ), yaitu gaya tekan keatas pada suatu benda yang mengapung sama dengan berat air yang dipindahkan ( *Archimedes Principle* ). Gaya buoyancy selalu sama dengan berat fluida yang dipindahkan ( lihat Gambar 2.7 )



**Gambar 2.7.** (a) Benda Terapung, (b) Benda Melayang, (c) Benda Tenggelam

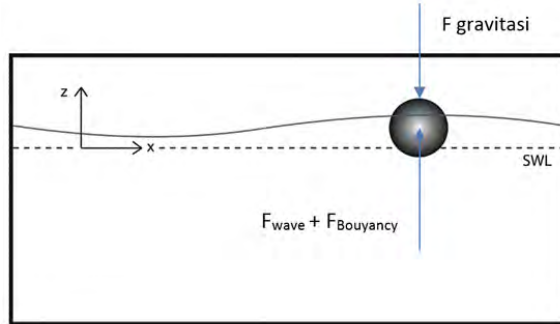
$$F_b = \rho_{fluida} \cdot V_{fluida} \cdot g \quad \dots(2.9)$$

dimana,

$$V_{fluida} = \frac{\rho_{Benda} \cdot V_{Benda}}{\rho_{fluida}} \quad \dots(2.10)$$

### 2.2.3.3 *Generated Force*

Gaya yang dihasilkan atau *generated force* ( $F_{generated}$ ) merupakan resultan gaya yang dihasilkan untuk dapat menggerakkan pengungkit dan pergerakan diteruskan ke poros utama untuk menggerakkan magnet sebagai elektromagnetik. Pada Gambar 2.8 bisa dilihat bahwa  $F_{generated}$  terdiri atas  $F_{gravitasi}$ ,  $F_{wave}$ , dan  $F_{bouyancy}$ .



**Gambar 2.8.** Analisa gaya yang dihasilkan pelampung

$$F_{\text{generated}} = (F_{\text{wave}} + F_{\text{bouyancy}}) - F_{\text{gravitasi}}$$

$$= \left[ \left( \frac{P_w}{c} \right) + (\rho_{\text{fluida}} \cdot V_{\text{fluida}} \cdot g) \right] - (m \cdot g) \quad \dots(2.11)$$

Dimana,  $F_{\text{generated}}$  adalah gaya yang ditransferkan oleh gelombang,  $F_{\text{wave}}$  adalah gaya yang dihasilkan oleh gelombang,  $F_{\text{bouyancy}}$  adalah gaya apung pelampung,  $F_{\text{gravitasi}}$  adalah gaya berat yang diterima sistem penangkap gelombang.

### 2.3 Dasar Teori Mekanika Getaran

Secara umum getaran dapat didefinisikan sebagai gerakan bolak-balik suatu benda dari posisi awal melalui titik keseimbangan. Setiap komponen mekanikal memiliki berat dan *properties* yang menyerupai pegas, ada dua kelompok umum dari getaran, yaitu getaran bebas dan getaran paksa.

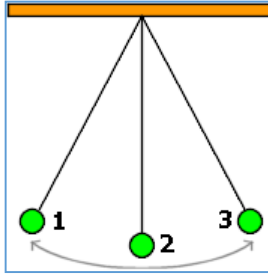
Getaran memiliki ciri-ciri, di antaranya:

1. Untuk menempuh lintasan satu getaran diperlukan waktu yang biasa disebut periode
2. Banyaknya getaran dalam satu sekon disebut frekuensi ( $f$ )

Semua sistem yang bergetar mengalami redaman sampai derajat tertentu karena energi terdisipasi oleh gesekan dan tahanan lain. Jika redaman kecil maka pengaruhnya sangat kecil terhadap frekuensi naturalnya, dan perhitungan frekuensi natural biasanya dilakukan atas dasar tidak ada redaman.

### 2.3.1 Amplitudo

Amplitudo adalah pengukuran skalar yang nonnegatif dari besar osilasi suatu gelombang. Amplitudo juga dapat didefinisikan sebagai jarak terjauh dari garis kesetimbangan dalam gelombang sinusoide dihitung dari kedudukan seimbang (lihat Gambar 2.9).



**Gambar 2.9.** Gerakan pada bandul

2. = titik setimbang ; 1 dan 3 = titik terjauh (Amplitudo)  
(<http://arifkristanta.wordpress.com/belajar-online/getaran/>)

### 2.3.2 Frekuensi

Frekuensi adalah ukuran jumlah putaran ulang per peristiwa dalam satuan waktu yang diberikan. Secara alternatif, seseorang bisa mengukur waktu antara dua buah kejadian / peristiwa (dan menyebutnya sebagai periode), lalu memperhitungkan frekuensi ( $f$ ) sebagai hasil kebalikan dari periode ( $T$ ), seperti nampak dari rumus di bawah ini :

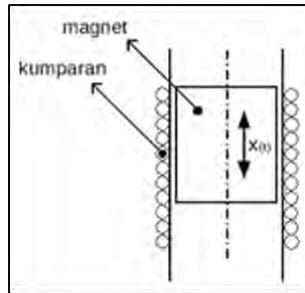
$$f = \frac{1}{T} \quad \dots(2.10)$$

dengan  $f$  adalah frekuensi (hertz) dan  $T$  periode (sekon atau detik).

## 2.4 Dasar Teori Elektromagnetik

### 2.4.1 Induksi Magnet

Energi dapat dikategorikan menjadi banyak macam, namun terdapat dua bentuk energi mekanik yang dapat dikaitkan dengan pembahasan mekanisme pemanen energi getaran, khususnya getaran dari gelombang laut yaitu dengan menggunakan energi potensial gravitasi yang terkait dengan posisi dan energi kinetik yang terkait dengan gerak magnet ( lihat Gambar 2.10 )



**Gambar 2.10.** Gerak magnet dalam kumparan  
(<http://dc261.4shared.com/doc/3gRzDYxG/preview.html>)

Michael Faraday (1791-1867) membuat hipotesis bahwa medan magnet dapat menimbulkan arus listrik. Dengan medan magnet atau fluks yang dapat berubah ubah, maka pada kumparan akan timbul gaya gerak listrik (ggl) sebesar.

$$e = -N \frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d\lambda}{dt} \quad \dots(2.11)$$

dimana

$N$  = jumlah lilitan pada kumparan

$\lambda = N \cdot \Phi$  merupakan *flux linkage*

$\Phi$  = harga fluks yang berubah ubah terhadap waktu

atau

$$e = -N \frac{d(B \cdot A)}{dt} \quad \dots(2.12)$$

dimana

$B$  = Gaya magnet

$A$  = luas penampang yang memotong gaya gerak listrik

Jika kerapatan fluks dan luas penampang merupakan besaran konstan, maka persamaan (2.12) menjadi :

$$e = -N \cdot B \cdot A \cdot f \quad \dots(2.13)$$

dimana,  $f = \frac{1}{\tau}$  adalah frekuensi gerak magnet tertinggal  $90^\circ$  dari fluks

$$\Phi. \text{ Dengan demikian, gaya gerak listrik yang dihasilkan adalah sebesar } e = N \cdot B \cdot A \cdot f \quad \dots(2.14)$$



Persamaan 2.14 Menyatakan bahwa besarnya gaya gerak listrik yang dihasilkan tergantung pada jumlah lilitan, besarnya fluks magnet, luasan penampang yang memotong gaya gerak listrik, dan frekuensi gerak magnet.

Bila kumparan N lilitan ditembus fluks magnetik, maka pada kumparan timbul GGL induksi yang disebut dengan  $\mathcal{E}_{ind}$  hukum faraday dinyatakan sebagai berikut:

$$\mathcal{E}_{ind} = N \frac{d\Phi}{dt} \quad \dots(2.15)$$

dimana,  $\mathcal{E}_{ind}$  = GGL induksi (V)

N = jumlah lilitan (tak bersatuan)

$\Phi$  = fluks magnetik (weber)

T = waktu (s)

Menjadi,

$$\mathcal{E}_{ind} = B \cdot \ell \cdot v \quad \dots(2.16)$$

dimana, B = induksi magnetik (weber / m<sup>2</sup>)

$\ell$  = panjang kawat ( m )

v = kelajuan ( m/s )

## 2.5 Analisa Gaya Pada Mekanisme

Gaya yang bekerja pada mekanisme terbagi atas keseimbangan statis dan keseimbangan dinamis, dimana pada masing-masing keseimbangan terdapat gaya yang bekerja pada mekanisme. Variasi yang digunakan pada mekanisme berupa variasi titik tumpu lengan dan variasi berdasarkan massa pelampung yang menjadi pokok utama pembahasan penulis, berikut ini penjabarannya secara lebih mendetail.

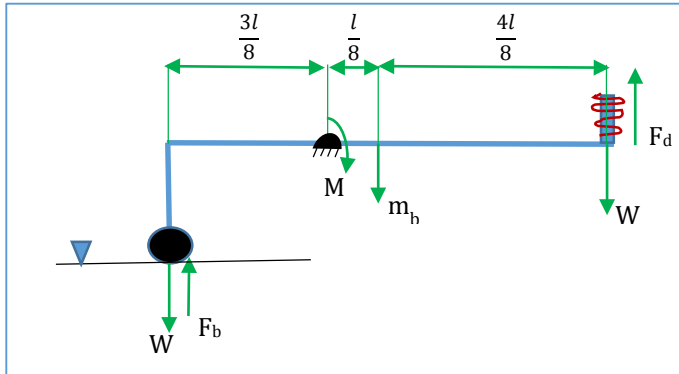
### 2.5.1 Posisi Titik Tumpu 1

Untuk posisi titik tumpu 1 ini tumpuan berjarak  $\frac{1}{8}$  ke sebelah kiri dari titik tengah lengan atau titik *center of gravity*, sehingga titik tumpu memiliki jarak  $\frac{3}{8}$  dari pelampung dan berjarak  $\frac{5}{8}$  dari magnet.

#### Keseimbangan Statis



Keseimbangan statis merupakan keseimbangan gaya yang terdapat pada mekanisme pada saat mekanisme belum bergerak atau dalam kondisi diam (lihat Gambar 2.11).



**Gambar 2.11.** Diagram Gaya Keseimbangan Statis Posisi Titik Tumpu 1

$$J_o = \frac{1}{12} m_b \cdot l^2 + m_b \cdot \left(\frac{l}{8}\right)^2 + m_p \cdot \left(\frac{3l}{8}\right)^2 + m_m \cdot \left(\frac{5l}{8}\right)^2$$

Ket:  $J_o$  = Momen Inersia  
 $m_b$  = massa batang (kg)  
 $m_p$  = massa pelampung (kg)  
 $m_m$  = massa magnet (kg)  
 $l$  = panjang lengan (m)

$$\begin{aligned} \sum M &= J_o \ddot{\theta} \\ F_b \cdot \frac{3l}{8} - W_p \cdot \frac{3l}{8} + W_m \cdot \frac{5l}{8} &= 0 \\ F_b \cdot \frac{3l}{8} + W_m \cdot \frac{5l}{8} &= W_p \cdot \frac{3l}{8} \end{aligned} \quad \dots(2.17)$$

Ket: Pada keseimbangan statis mekanisme dalam keadaan diam, sehingga jumlah momen yang terjadi sama dengan nol.

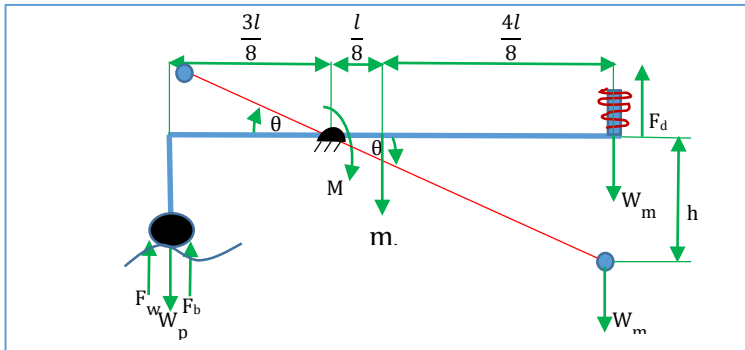
$M$  = Momen (Nm)  
 $\ddot{\theta}$  = Percepatan Angular



- $F_b$  = Gaya Apung (N)  
 $W_p$  = Gaya Berat dari pelampung (N)  
 $W_m$  = Gaya Berat dari magnet (N)

### Keseimbangan Dinamis

Keseimbangan dinamis merupakan merupakan keseimbangan gaya yang terdapat pada mekanisme pada saat mekanisme telah bergerak atau bekerja ( lihat Gambar 2.12).



**Gambar 2.12.** Diagram Gaya Keseimbangan Dinamis Posisi Titik Tumpu 1

$$\begin{aligned}
 \downarrow \quad \Sigma M &= J_o \cdot \ddot{\theta} \\
 F_w \cdot \frac{3l}{8} + F_b \cdot \frac{3l}{8} - W_p \cdot \frac{3l}{8} - W_p \cdot \frac{3l}{8} \sin \theta + W_m \cdot \frac{5l}{8} - F_d \cdot \frac{5l}{8} - W_m \cdot \frac{5l}{8} \sin \theta &= J_o \cdot \ddot{\theta} \\
 F_w \cdot \frac{3l}{8} - W_p \cdot \frac{3l}{8} \sin \theta - F_d \cdot \frac{5l}{8} - W_m \cdot \frac{5l}{8} \sin \theta &= \left[ \frac{1}{12} m_b \cdot l^2 + m_b \cdot \left( \frac{1}{8} \right)^2 + \right. \\
 m_p \cdot \left( \frac{3l}{8} \right)^2 + m_m \cdot \left( \frac{5l}{8} \right)^2 \Big] \ddot{\theta} \\
 F_w \cdot \frac{3l}{8} &= \left[ \frac{1}{12} m_b \cdot l^2 + m_b \cdot \left( \frac{1}{8} \right)^2 + m_p \cdot \left( \frac{3l}{8} \right)^2 + m_m \cdot \left( \frac{5l}{8} \right)^2 \right] \ddot{\theta} + W_p \cdot \frac{3l}{8} \sin \theta + \\
 W_m \cdot \frac{5l}{8} \sin \theta + F_d \cdot \frac{5l}{8} \\
 F_w \cdot \frac{3l}{8} &= \left[ \frac{1}{12} m_b \cdot l^2 + m_b \cdot \left( \frac{1}{8} \right)^2 + m_p \cdot \left( \frac{3l}{8} \right)^2 + m_m \cdot \left( \frac{5l}{8} \right)^2 \right] \ddot{\theta} + \frac{[(3W)_p + 5W_m]l}{8} \cdot \theta + \\
 F_d \cdot \frac{5l}{8} &\quad \dots(2.18)
 \end{aligned}$$

Ket : Perubahan  $F_b$  dinamis akibat  $V_{tercelup}$  yang berubah-ubah diasumsikan tidak terlalu signifikan sehingga  $F_b$  dinamis sama dengan  $F_b$  statis, sehingga dari persamaan





2.17 kita dapat menghilangkan nilai  $F_b \cdot \frac{3l}{8}, W_p \cdot \frac{3l}{8}, W_m \cdot \frac{5l}{8}$  pada persamaan keseimbangan dinamis

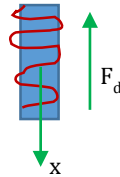
$F_w$  = Gaya Ombak (N)

$F_d$  = Gaya Damping (N)

$\sin \theta$  =  $\theta$  (  $\theta$  sangat kecil )

\* $\theta$  sangat kecil karena simpangan (x) yang terjadi pada mekanisme sangat kecil

### 2.5.1.1 Analisa Gaya pada Magnet



Rumus Gaya Lorentz,  $F_L = B \cdot i \cdot L$

Rumus GGL Induksi,  $\varepsilon_{ggl} = B \cdot L \cdot v$  (volt)

Arus listrik,  $i = \frac{\varepsilon_{ggl}}{R}$  (ampere)

dengan  $R = \frac{\rho \cdot L}{A}$  (ohm)

maka rumus gaya lorentz dapat disederhanakan menjadi

$$F_L = B \cdot \frac{\varepsilon_{ggl}}{R} \cdot L$$

$$F_L = B \cdot \frac{B \cdot L \cdot v}{R} \cdot L$$

$$F_L = \left( \frac{B^2 \cdot L^2}{R} \right) \cdot v$$

gaya lorentz = gaya damping / redaman

$$F_L = F_d = c_e \cdot v$$

$$C_e = \left( \frac{B^2 \cdot L^2}{R} \right)$$

maka power yang dihasilkan

$$P = \int F_d \dot{x}$$

$$P = C_e v dv = C_e \dot{x} d\dot{x}$$

$$P = \frac{1}{2} \cdot c_e \cdot \dot{x}^2$$

atau bisa ditulis



$$P = \frac{1}{2} \left( \frac{B^2 \cdot L^2}{R} \right) v^2 \quad \dots(2.19)$$

$$\text{Jadi Gaya Damping, } F_d = \left( \frac{B^2 \cdot L^2}{R} \right) \cdot v \quad \dots(2.20)$$

### 2.5.1.2 Analisa Gaya yang Dihasilkan Gelombang Laut

$$F_w = \frac{\rho_f \cdot g^2 \cdot H^2 \cdot T^2}{32\pi\lambda} \quad \dots(2.21)$$

Ket :  $\rho_f$  = Massa jenis fluida (kg/m<sup>3</sup>)  
 $g$  = percepatan gravitasi (m/s<sup>2</sup>)  
 $H$  = Tinggi gelombang (m)  
 $T$  = Periode gelombang (s)  
 $\lambda$  = Panjang gelombang (m)

Substitusi persamaan (2.20) dan (2.21) ke persamaan (2.18), maka

$$\left[ \frac{\rho_f \cdot g^2 \cdot H^2 \cdot T^2}{32\pi\lambda} \right] \cdot \frac{3l}{8} = \left[ \frac{1}{12} m_b \cdot l^2 + m_b \cdot \left( \frac{l}{8} \right)^2 + m_p \cdot \left( \frac{3l}{8} \right)^2 + m_m \cdot \left( \frac{5l}{8} \right)^2 \right] \ddot{\theta} + (3m_p + 5m_m) g \frac{l}{8} \theta + \left[ \left( \frac{B^2 \cdot L^2}{R} \right) \cdot v \right] \cdot \frac{5l}{8} \quad \dots(2.22)$$

dengan  $\ddot{\theta} = \frac{8\ddot{x}}{5l}$  dan  $\theta = \frac{8x}{5l}$ , maka persamaan (2.22) menjadi

$$\left[ \frac{\rho_f \cdot g^2 \cdot H^2 \cdot T^2}{32\pi\lambda} \right] \cdot \frac{3l}{8} = \left[ \frac{1}{12} m_b + \frac{m_b}{64} + \frac{9m_p}{64} + \frac{25m_m}{64} \right] l^2 \cdot \frac{8\ddot{x}}{5l} + (3m_p + 5m_m) g \cdot \frac{l}{8} \cdot \frac{8x}{5l} + \left[ \left( \frac{B^2 \cdot L^2}{R} \right) \cdot \dot{x} \right] \cdot \frac{5l}{8}$$

$$\left[ \frac{\rho_f \cdot g^2 \cdot H^2 \cdot T^2}{32\pi\lambda} \right] \cdot \frac{3l}{8} = \left[ \frac{2m_b}{15} + \frac{m_b}{40} + \frac{9m_p}{40} + \frac{5m_m}{8} \right] l \ddot{x} + \left( \frac{B^2 \cdot L^2}{R} \right) \cdot \frac{5l}{8} \cdot \dot{x} + \left( \frac{3}{5} m_p + m_m \right) g \cdot x \quad \dots(2.23)$$

dari persamaan (2.23) diperoleh

$$M_{eq} = \left[ \frac{2m_b}{15} + \frac{m_b}{40} + \frac{9m_p}{40} + \frac{5m_m}{8} \right] l$$

$$C_{eq} = \left( \frac{B^2 \cdot L^2}{R} \right) \frac{5l}{8}$$

$$K_{eq} = \left( \frac{3}{5} m_p + m_m \right) g$$

maka didapat frekuensi natural,  $\omega_n = \sqrt{\frac{K_{eq}}{M_{eq}}} = \sqrt{\frac{\left( \frac{3}{5} m_p + m_m \right) g}{\left[ \frac{2m_b}{15} + \frac{m_b}{40} + \frac{9m_p}{40} + \frac{5m_m}{8} \right] l}}$

damping ratio,  $\zeta = \frac{C_{eq}}{c_c} = \frac{\left( \frac{B^2 \cdot L^2}{R} \right) \frac{5l}{8}}{2 \cdot m_{eq} \cdot \omega_n}$



### 2.5.1.3 Analisa Respon Massa Magnet

$$v = \dot{x}_{(t)} = \omega_f X \cos(\omega_f \cdot t - \phi) \quad \dots(2.24)$$

$$\text{dengan } X = \frac{F_o}{\sqrt{(k_{eq} - m_{eq} \cdot \omega_f^2)^2 + (c_{eq} \cdot \omega_f)^2}} \quad \dots(2.25)$$

$$\phi = \tan^{-1} \left( \frac{c_{eq} \cdot \omega_f}{k_{eq} - \omega_f^2} \right) \text{ dan } F_o = F_w$$

substitusi persamaan (2.21) ke persamaan (2.25) maka menjadi

$$X = \frac{\rho_f \cdot g^2 \cdot H^2 \cdot T^2 / 32\pi\lambda}{\sqrt{(k_{eq} - m_{eq} \cdot \omega_f^2)^2 + (c_{eq} \cdot \omega_f)^2}} \quad \dots(2.26)$$

kemudian substitusi persamaan (2.26) ke persamaan (2.24) maka menjadi

$$\dot{x}_{(t)} = \omega_f \frac{\rho_f \cdot g^2 \cdot H^2 \cdot T^2 / 32\pi\lambda}{\sqrt{(k_{eq} - m_{eq} \cdot \omega_f^2)^2 + (c_{eq} \cdot \omega_f)^2}} \cos \left( \omega_f \cdot t - \tan^{-1} \left( \frac{c_{eq} \cdot \omega_f}{k_{eq} - \omega_f^2} \right) \right) \quad \dots(2.27)$$

substitusi persamaan (2.27) ke persamaan (2.19) maka didapat nilai power listrik yang dihasilkan sebagai berikut

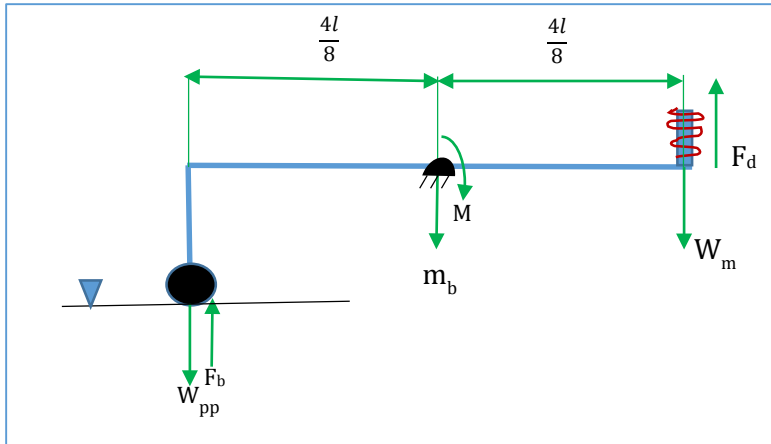
$$P = \frac{1}{2} \left( \frac{B^2 \cdot L^2}{R} \right) \left[ \omega_f \frac{\rho_f \cdot g^2 \cdot H^2 \cdot T^2 / 32\pi\lambda}{\sqrt{(k_{eq} - m_{eq} \cdot \omega_f^2)^2 + (c_{eq} \cdot \omega_f)^2}} \cos \left( \omega_f \cdot t - \tan^{-1} \left( \frac{c_{eq} \cdot \omega_f}{k_{eq} - \omega_f^2} \right) \right) \right]^2 \quad \dots(2.28)$$

### 2.5.2 Posisi Titik Tumpu 2

Untuk posisi titik tumpu 2 ini tumpuan berada ditengah lengan atau titik *center of gravity*, sehingga titik tumpu memiliki jarak  $\frac{4l}{8}$  dari pelampung dan berjarak  $\frac{4l}{8}$  dari magnet.

#### Keseimbangan Statis

Keseimbangan statis merupakan merupakan keseimbangan gaya yang terdapat pada mekanisme pada saat mekanisme belum bergerak atau dalam kondisi diam (lihat Gambar 2.13).



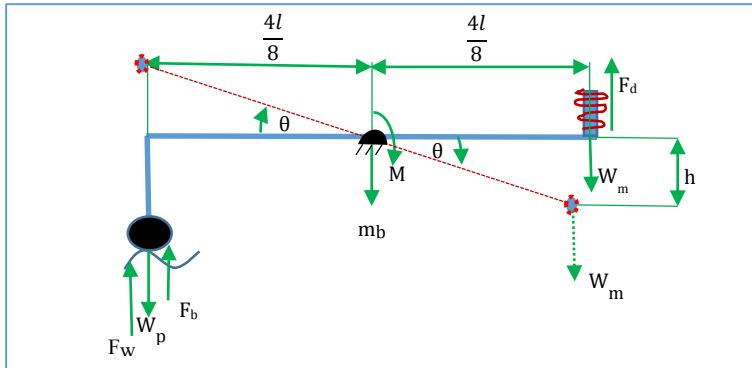
**Gambar 2.13.** Diagram Gaya Keseimbangan Statis Posisi Titik Tumpu 2

$$J_o = \frac{1}{12} m_b \cdot l^2 + m_p \cdot \left(\frac{4l}{8}\right)^2 + m_m \cdot \left(\frac{4l}{8}\right)^2$$

$$\begin{aligned} + \sum M &= J_o \cdot \ddot{\theta} \\ F_b \cdot \frac{4l}{8} - W_p \cdot \frac{4l}{8} + W_m \cdot \frac{4l}{8} &= 0 \\ F_b \cdot \frac{4l}{8} + W_m \cdot \frac{4l}{8} &= W_p \cdot \frac{4l}{8} \end{aligned} \quad \dots(2.29)$$

### Keseimbangan Dinamis

Keseimbangan dinamis merupakan keseimbangan gaya yang terdapat pada mekanisme pada saat mekanisme telah bergerak atau bekerja ( lihat Gambar 2.14 ).



**Gambar 2.14.** Diagram Gaya Keseimbangan Dinamis Posisi Titik Tumpu 2

$$\begin{aligned}
 & \sum M = J_o \cdot \ddot{\theta} \\
 & F_w \cdot \frac{4l}{8} = \left[ \frac{1}{12} m_b \cdot l^2 + m_p \cdot \left( \frac{4l}{8} \right)^2 + m_m \cdot \left( \frac{4l}{8} \right)^2 \right] \ddot{\theta} + (W_p + W_m) \frac{4l}{8} \cdot \theta + F_d \cdot \frac{4l}{8} \\
 & \text{dengan } \ddot{\theta} = \frac{8\ddot{x}}{4l} \text{ dan } \theta = \frac{8x}{4l} \text{ dan analisa sama seperti kondisi 1 maka} \\
 & \text{didapatkan model matematika sistem sebagai berikut;} \\
 & \left[ \frac{\rho_f \cdot g^2 \cdot H^2 \cdot T^2}{32\pi\lambda} \right] \cdot \frac{4l}{8} = \left[ \frac{1}{12} m_b \cdot l^2 + \frac{m_p}{4} + \frac{m_m}{4} \right] l^2 \cdot \frac{8\ddot{x}}{4l} + (m_p + m_m) g \cdot \frac{4l}{8} \cdot \frac{8x}{4l} + \left[ \left( \frac{B^2 \cdot L^2}{R} \right) \cdot \dot{x} \right] \cdot \frac{4l}{8} \\
 & \left[ \frac{\rho_f \cdot g^2 \cdot H^2 \cdot T^2}{32\pi\lambda} \right] \cdot \frac{l}{2} = \left[ \frac{m_b}{6} \cdot l^2 + \frac{m_p}{2} + \frac{m_m}{2} \right] l \ddot{x} + \left( \frac{B^2 \cdot L^2}{R} \right) \cdot \frac{l}{2} \cdot \dot{x} + (m_p + m_m) g \cdot x \dots (2.30) \\
 & \text{dari persamaan (2.30) diperoleh} \\
 & M_{eq} = \left[ \frac{m_b}{6} \cdot l^2 + \frac{m_p}{2} + \frac{m_m}{2} \right] l \\
 & C_{eq} = \left( \frac{B^2 \cdot L^2}{R} \right) \frac{l}{2} \\
 & K_{eq} = (m_p + m_m) g
 \end{aligned}$$

$$\text{maka didapat frekuensi natural, } \omega_n = \sqrt{\frac{K_{eq}}{M_{eq}}} = \sqrt{\frac{(m_p + m_m) g}{\left[ \frac{m_b}{6} \cdot l^2 + \frac{m_p}{2} + \frac{m_m}{2} \right] l}}$$

$$\text{damping ratio, } \zeta = \frac{C_{eq}}{c_c} = \frac{\left( \frac{B^2 \cdot L^2}{R} \right) \frac{l}{2}}{2 \cdot m_{eq} \cdot \omega_n}$$

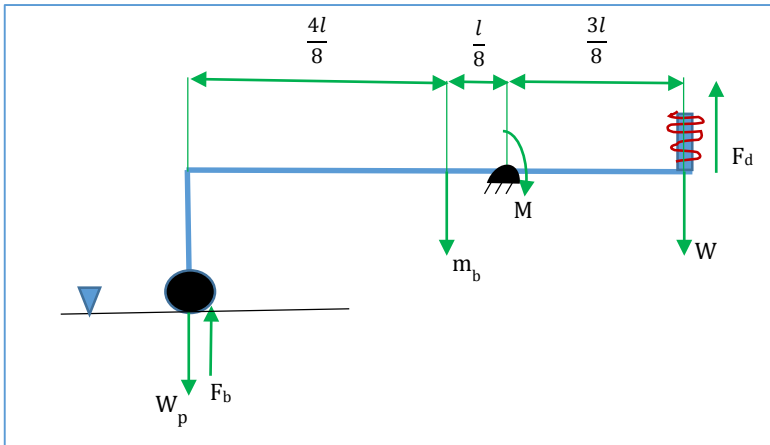
Untuk mendapatkan nilai power listrik yang dihasilkan maka dapat mensubstitusikan nilai  $k_{eq}$  dan  $m_{eq}$  kedalam persamaan 2.28

### 2.5.3 Kondisi Titik Tumpu 3

Untuk posisi titik tumpu 3 ini tumpuan berjarak  $\frac{1}{8}l$  ke sebelah kanan dari titik tengah lengan atau titik *center of gravity*, sehingga titik tumpu memiliki jarak  $\frac{5}{8}l$  dari pelampung dan berjarak  $\frac{3}{8}l$  dari magnet.

#### Keseimbangan Statis

Keseimbangan statis merupakan merupakan keseimbangan gaya yang terdapat pada mekanisme pada saat mekanisme belum bergerak atau dalam kondisi diam (lihat Gambar 2.15).



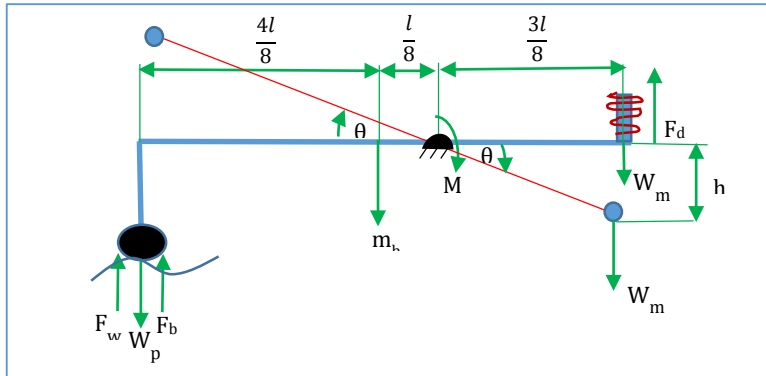
**Gambar 2.15.** Diagram Gaya Keseimbangan Statis Posisi Titik Tumpu 3

$$J_o = \frac{1}{12} m_b \cdot l^2 + m_b \cdot \left(\frac{1}{8}l\right)^2 + m_p \cdot \left(\frac{5}{8}l\right)^2 + m_m \cdot \left(\frac{3}{8}l\right)^2$$

$$\begin{aligned} \sum M &= J_o \cdot \ddot{\theta} \\ F_b \cdot \frac{5l}{8} - W_p \cdot \frac{5l}{8} + W_m \cdot \frac{3l}{8} &= 0 \\ F_b \cdot \frac{5l}{8} + W_m \cdot \frac{3l}{8} &= W_p \cdot \frac{5l}{8} \end{aligned} \quad \dots(2.31)$$

#### Keseimbangan Dinamis

Keseimbangan dinamis merupakan merupakan keseimbangan gaya yang terdapat pada mekanisme pada saat mekanisme telah bergerak atau bekerja ( lihat Gambar 2.16 ).



**Gambar 2.16.** Diagram Gaya Keseimbangan Dinamis Posisi Titik Tumpu 3

$$+ \curvearrowright \quad \Sigma M = J_o \cdot \ddot{\theta}$$

$$F_w \cdot \frac{5l}{8} = \left[ \frac{1}{12} m_b \cdot l^2 + m_b \cdot \left( \frac{l}{8} \right)^2 + m_p \cdot \left( \frac{5l}{8} \right)^2 + m_m \cdot \left( \frac{3l}{8} \right)^2 \right] \ddot{\theta} + \frac{[(5W)_p + 3W_m]l}{8} \cdot \theta + F_d \cdot \frac{3l}{8}$$

dengan  $\ddot{\theta} = \frac{8\ddot{x}}{3l}$  dan  $\theta = \frac{8x}{3l}$  dan analisa sama seperti kondisi 1 maka didapatkan model matematika sistem sebagai berikut;

$$\left[ \frac{\rho_f \cdot g^2 \cdot H^2 \cdot T^2}{32\pi\lambda} \right] \cdot \frac{5l}{8} = \left[ \frac{1}{12} m_b + \frac{m_b}{64} + \frac{25m_p}{64} + \frac{9m_m}{64} \right] l^2 \cdot \frac{8\ddot{x}}{3l} + (5m_p + 3m_m) g \cdot \frac{l}{8} \cdot \frac{8x}{3l} + \left[ \left( \frac{B^2 \cdot L^2}{R} \right) \cdot \dot{x} \right] \cdot \frac{3l}{8}$$

$$\left[ \frac{\rho_f \cdot g^2 \cdot H^2 \cdot T^2}{32\pi\lambda} \right] \cdot \frac{5l}{8} = \left[ \frac{2m_b}{9} + \frac{m_b}{24} + \frac{25m_p}{24} + \frac{3m_m}{8} \right] l \ddot{x} + \left( \frac{B^2 \cdot L^2}{R} \right) \cdot \frac{8l}{3} \cdot \dot{x} + \left( \frac{5}{3} m_p + m_m \right) g \cdot x \quad \dots(2.32)$$

dari persamaan (2.32) diperoleh

$$M_{eq} = \left[ \frac{2m_b}{9} + \frac{m_b}{24} + \frac{25m_p}{24} + \frac{3m_m}{8} \right] l$$

$$C_{eq} = \left( \frac{B^2 \cdot L^2}{R} \right) \frac{3l}{8}$$

$$K_{eq} = \left( \frac{5}{3} m_p + m_m \right) g$$

maka didapat frekuensi natural,  $\omega_n = \sqrt{\frac{K_{eq}}{M_{eq}}} = \sqrt{\frac{\left( \frac{5}{3} m_p + m_m \right) g}{\left[ \frac{2m_b}{9} + \frac{m_b}{24} + \frac{25m_p}{24} + \frac{3m_m}{8} \right] l}}$

damping ratio,  $\zeta = \frac{C_{eq}}{c_c} = \frac{\left( \frac{B^2 \cdot L^2}{R} \right) \frac{3l}{8}}{2 \cdot M_{eq} \cdot \omega_n}$

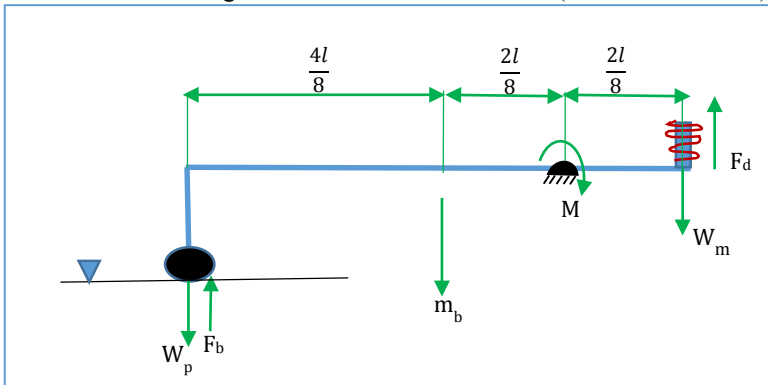
Untuk mendapatkan nilai power listrik yang dihasilkan maka dapat mensubstitusikan nilai  $k_{eq}$  dan  $m_{eq}$  kedalam persamaan 2.28

### 2.5.4 Kondisi Titik Tumpu 4

Untuk posisi titik tumpu 3 ini tumpuan berjarak  $\frac{1}{8}l$  ke sebelah kanan dari titik tumpu 3 atau berjarak  $\frac{2}{8}l$  dari center of gravity sehingga titik tumpu memiliki jarak  $\frac{6}{8}l$  dari pelampung dan berjarak  $\frac{2}{8}l$  dari magnet.

#### Keseimbangan Statis

Keseimbangan statis merupakan merupakan keseimbangan gaya yang terdapat pada mekanisme pada saat mekanisme belum bergerak atau dalam kondisi diam (lihat Gambar 2.17).



**Gambar 2.17.** Diagram Gaya Keseimbangan Statis Posisi Titik Tumpu 4

$$J_o = \frac{1}{12} m_b \cdot l^2 + m_b \cdot \left(\frac{2l}{8}\right)^2 + m_p \cdot \left(\frac{6l}{8}\right)^2 + m_m \cdot \left(\frac{2l}{8}\right)^2$$

$$\begin{aligned} \rightarrow \quad \Sigma M &= 0 \\ F_b \cdot \frac{6l}{8} - W_p \cdot \frac{6l}{8} + W_m \cdot \frac{2l}{8} &= 0 \\ F_b \cdot \frac{6l}{8} + W_m \cdot \frac{2l}{8} &= W_p \cdot \frac{6l}{8} \end{aligned} \quad \dots(2.33)$$

#### Keseimbangan Dinamis

Keseimbangan dinamis merupakan merupakan keseimbangan gaya yang terdapat pada mekanisme pada saat mekanisme telah bergerak atau bekerja ( lihat Gambar 2.18 ).



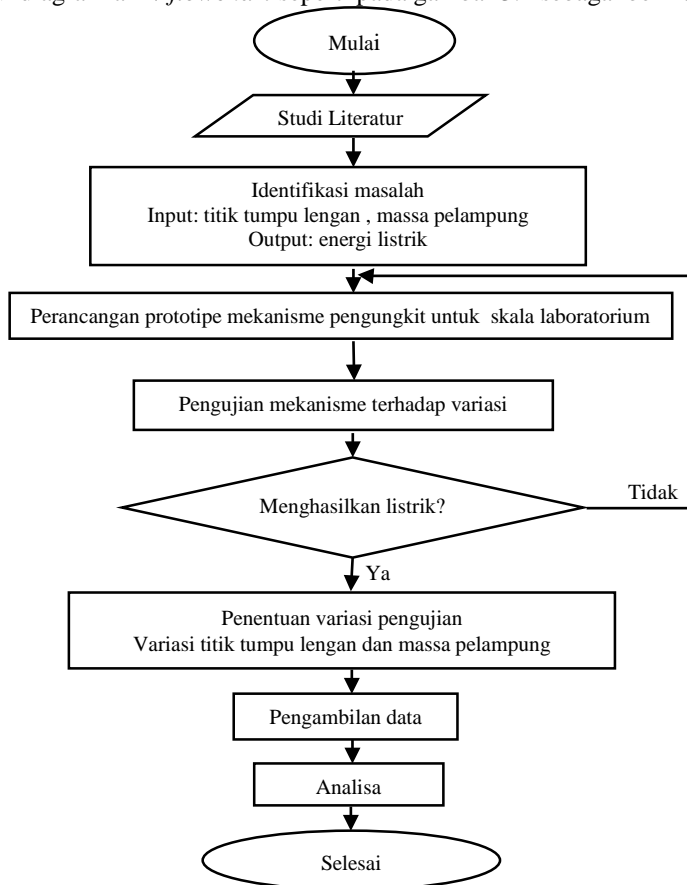




## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1.1 Diagram Alir Penelitian Tugas Akhir

Agar penelitian ini dapat mencapai tujuan yang diinginkan seperti yang tercantum pada tujuan, maka perlu dilakukan langkah – langkah yang sesuai dengan prosedur pengerjaan. Prosedur analisa akan dijelaskan melalui diagram alir / *flowchart* seperti pada gambar 3.1 sebagai berikut:



**Gambar 3.1** Diagram alir penelitian



### 3.1.2 Tahapan Pengerjaan Tugas Akhir

Selama pengerjaan tugas akhir ini, penulis membagi pengerjaan tugas ini dalam beberapa tahapan pengerjaan. Tahapan pengerjaan tugas akhir ini antara lain :

### 3.1.3 Studi Literatur

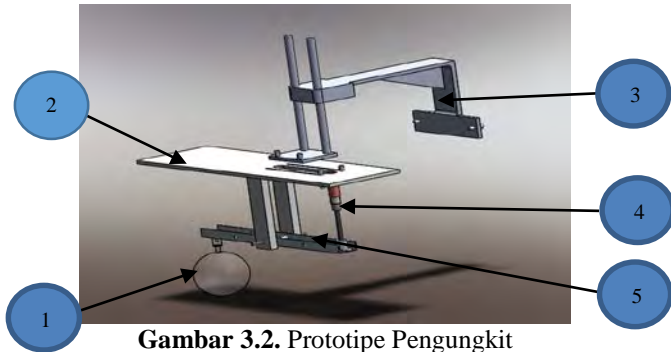
Studi literatur ini dilakukan agar dapat menambah wawasan, pengetahuan penulis terhadap materi yang akan dibahas pada tugas akhir ini. Pada tahap studi literatur penulis melakukan kajian dan mengambil beberapa teori penunjang dari buku-buku, artikel, jurnal ilmiah, dan tugas akhir terdahulu. Diharapkan dari hasil studi literatur ini, penulis dapat menganalisa hasil dari pengujian yang dilakukan.

### 3.1.4 Identifikasi Masalah

Kegiatan yang akan dilakukan dalam pengidentifikasian masalah dalam kegiatan penelitian ini adalah mengetahui kinerja dari mekanisme Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL) tipe pengungkit dengan variasi titik tumpu lengan dan massa pelampung.

### 3.1.5 Perancangan Mekanisme

Dalam perancangan ini dibuat suatu mekanisme penghasil energi listrik dengan menggunakan prinsip gaya gerak listrik (ggl) yang berbentuk pengungkit dimana dalam proses perancangan penggambaran ini menggunakan *software*. Prinsip kerja dari mekanisme ini adalah dengan memanfaatkan naik turunnya gelombang air dimana dengan naik turunnya gelombang air tersebut akan menggerakkan pelampung. Gerakan naik turun (*pitching*) pada pelampung dimanfaatkan untuk menggerakkan pengungkit dimana pada ujung pengungkit tersebut dipasang magnet dan kumparan yang berfungsi sebagai generator. Sehingga pada saat pengungkit bergerak, dengan menggunakan prinsip gaya gerak listrik maka akan menghasilkan energi listrik ( lihat Gambar 3.2 ).



**Gambar 3.2.** Prototipe Pengungkit

Keterangan gambar :

1. Pelampung
2. *Housing*
3. *Slider*
4. Magnet dan Kumparan
5. Lengan Pengungkit

Mekanisme Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL) ini dibutuhkan komponen - komponen pendukung guna terwujudnya mekanisme yang baik. Berikut ini adalah komponen – komponen pendukung beserta fungsinya :

1. Pelampung

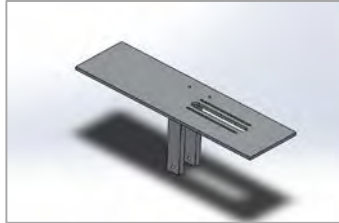
Pelampung digunakan untuk mengkonversi gerakan gelombang laut menjadi gerakan naik turun jungkat jungkit yang akan menggerakkan magnet kedalam kumparan sebagai generator. Pelampung yang digunakan memiliki diameter 5 inchi dan menggunakan bahan plastik ( lihat Gambar 3.3 ).



**Gambar 3.3.** Pelampung

## 2. *Housing*

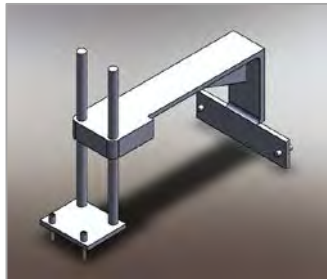
*Housing* merupakan tempat kedudukan dari lengan jungkit, dimana pada *housing* pula terdapat kumparan yang akan menjadi generator ( lihat Gambar 3.4 ).



**Gambar 3.4. *Housing***

## 3. *Slider*

*Slider* merupakan dudukan dari mekanisme pada kolam dimana dengan *slider* ini bisa diatur ketinggian dari mekanisme terhadap gelombang yang dihasilkan ( lihat Gambar 3.5 ).



**Gambar 3.5. *Slider***

## 4. Magnet dan Kumparan

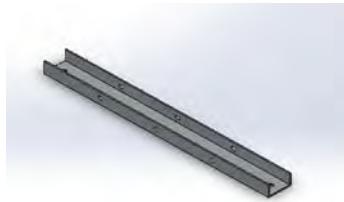
Magnet merupakan komponen terpenting pada mekanisme PLTGL tipe pengungkit ini dimana magnet merupakan penghasil energi listrik dengan memanfaatkan gaya gerak listrik sehingga menghasilkan induksi elektromagnetik. Magnet yang digunakan ialah magnet keping dengan diameter 20 mm dan berjumlah 14 buah. Magnet itu sendiri akan bergerak melewati kumparan yang terdiri dari lilitan dengan jumlah tertentu yang terbuat dari kawat tembaga sehingga dapat menghasilkan energi listrik ( lihat Gambar 3.6 ).



**Gambar 3.6.** Magnet dan Kumparan

5. Lengan Pengungkit

Lengan pengungkit merupakan komponen yang akan menggerakkan magnet masuk kedalam kumparan sehingga dapat menghasilkan energi listrik dengan prinsip gaya gerak langsung (ggl). Pada Gambar 3.7 dapat dilihat bahwa lengan pengungkit ini menggunakan bahan Akrilik dengan panjang 50 cm.



**Gambar 3.7.** Lengan Pengungkit

### 3.1.6 Tahap Pengujian

Pengujian Mekanisme dengan variasi titik tumpu lengan dan massa pelampung untuk mengetahui pengaruh hubungan input output antara energi yang dihasilkan oleh gelombang dan voltase (tegangan) yang dihasilkan oleh magnet sebagai elektromagnetik.

### 3.1.7 Peralatan Pengujian

Untuk melakukan studi eksperimental pada PLTGL tipe Pengungkit ini dibutuhkan beberapa peralatan pengujian.

### 1. Kolam

Kolam merupakan media untuk dilakukannya pengujian terhadap mekanisme PLTGL tipe pengungkit ini dimana pada kolam tersebut dapat dihasilkan gelombang yang merupakan sumber utama dalam membangkitkan listrik melalui mekanisme yang dirancang. Dimensi kolam yang digunakan ialah 5x1x1 m (lihat Gambar 3.8).



**Gambar 3.8.** Kolam

### 2. Mekanisme PLTGL Tipe Pengungkit

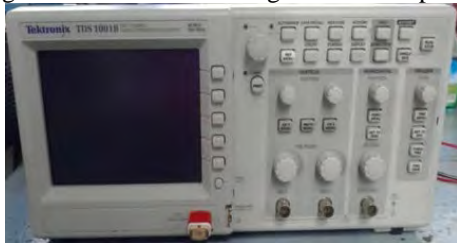
Dalam dilakukannya pengujian tentunya menggunakan mekanisme yang telah dirancang yakni mekanisme PLTGL Tipe Pengungkit dimana pada mekanisme ini terdiri atas komponen utama yakni pelampung sebagai konversi gerakan gelombang menjadi gerakan naik turun, komponen lengan pengungkit sebagai penggerak utama mekanisme yang turut menggerakkan magnet sehingga dapat menghasilkan listrik dan komponen magnet itu sendiri sebagai penghasil listrik dengan prinsip induksi elektromagnetik (lihat Gambar 3.9).



**Gambar 3.9.** PLTGL Tipe Pengungkit

### 3. Perekam Data dan Pengolah Data

Untuk merekam data pada pengujian ini digunakan *Digital Storage Oscilloscope* dengan merk UNI-T UT2062C ( lihat Gambar 3.10 ), keluaran dari alat ini ialah data tegangan yang dihasilkan oleh mekanisme PLTGL .Data tersebut berupa grafik voltase bangkitan induksi elektromagnetik terhadap waktu.



**Gambar 3.10.** *Digital Storage Oscilloscope*

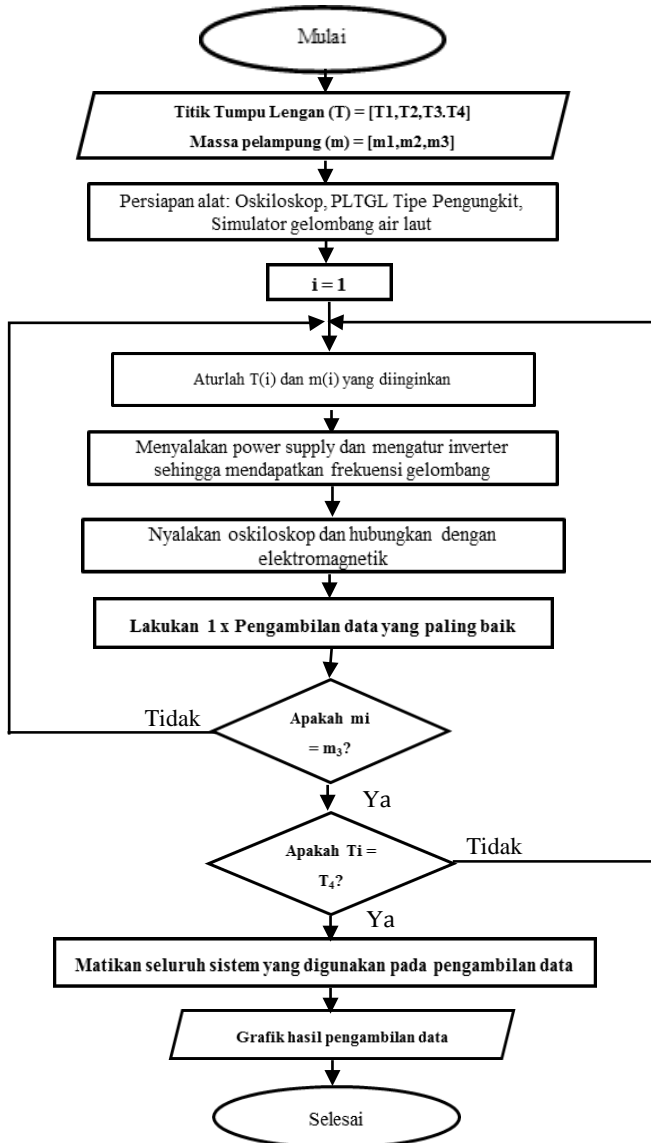
### 3.1.8 Pengambilan Data

Pengambilan data PLTGL Tipe Jungkat – Jungkit dilakukan sebanyak beberapa kali sehingga didapatkan hasil yang paling baik barulah dilakukan tahap pengolahan data. Dimana dilakukan untuk setiap masing-masing variasi pengujian yaitu, variasi titik tumpu lengan dan massa pelampung.

#### 3.1.8.1 Diagram Alir Pengambilan Data

Langkah – langkah dalam mengambil data pengujian PLTGL Tipe Pengungkit dapat disajikan dalam bentuk diagram alir seperti pada Gambar 3.12





**Gambar 3.11** Diagram alir pengambilan data



### 3.2.6.2. Format Lembar Hasil Pengambilan Data

Lembar hasil pengambilan data digunakan untuk mencatat data voltase keluaran yang dihasilkan oleh elektromagnet pada PLTGL Tipe Pengungkit. Besar voltase keluaran dapat dilihat pada layar oskiloskop. Format dari lembar hasil pengambilan data seperti pada Tabel 3.1

**Tabel 3.1.** Contoh Tabel Data Hasil Pengujian

		Massa (kg)	Voltage RMS (volt)	Daya (watt)
T1	m1	0,363		
	m2	0,388		
	m3	0,413		
T2	m1	0,363		
	m2	0,388		
	m3	0,413		
T3	m1	0,363		
	m2	0,388		
	m3	0,413		
T4	m1	0,363		
	m2	0,388		
	m3	0,413		

### 3.2.7 Analisa dan Pengolahan Data

Data yang diperoleh dari hasil pengujian akan diolah sehingga hasil pegujian akan dapat ditunjukkan dalam bentuk grafik



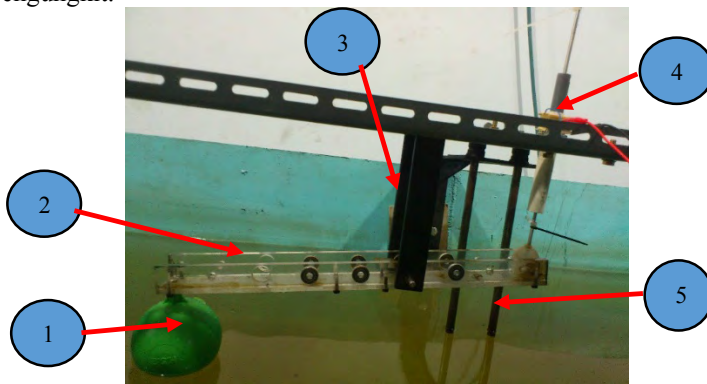
**[Halaman ini sengaja dikosongkan]**

## BAB IV

### ANALISA DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 *Prototype Simulator PLTGL Tipe Pengungkit*

Untuk dapat mencapai hasil dari penelitian simulator pembangkit listrik tenaga gelombang laut ( PLTGL ) tipe pengungkit , maka diperlukan pembuatan simulator pembangkit listrik tenaga gelombang laut sistem pengungkit sehingga dapat dilakukan pengambilan data dan penelitian. Berikut ini adalah gambar dari simulator PLTGL tipe pengungkit.



**Gambar 4.1** Simulator PLTGL Sistem Pengungkit

Keterangan Gambar:

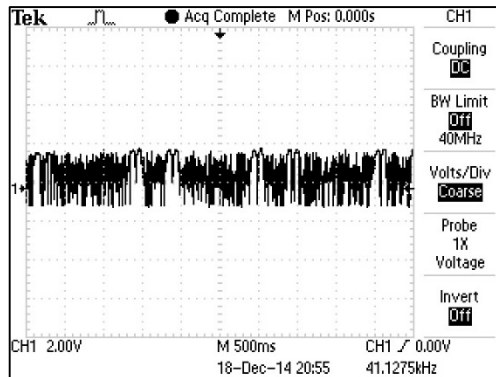
1. Pelampung
2. Lengan Pengungkit
3. *Housing*
4. Magnet dan kumparan
5. *Slider*

Gambar 4.1 menunjukkan Simulator Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Tipe Pengungkit. Sistem ini diletakkan pada sebuah kolam simulator yang menghasilkan ombak buatan. Adapun bagian-



bagian dari Simulator ini dipergunakan untuk untuk menunjang penelitian dan pengambilan data pada saat pengujian berlangsung.

Bagian – bagian simulator terdiri dari pelampung, lengan pengungkit, *housing* sebagai dudukan lengan pengungkit, *slider* sebagai mekanisme untuk mengatu ketinggian dai PLTGL Tipe Pengungkit sekaligus dudukan terhadap kolam, serta magnet dan kumpaan sebagai linier generator yang akan membangkitkan listrik. Kumparan yang digunakan terdiri atas 3000 lilitan dengan panjang 25 kumparan mm. Mekanisme lengan pengungkit terdiri dari 4 buah lubang yang digunakan sebagai titik tumpuan sekaligus sebagai variasi dari mekanisme, sementara itu pada pelampung juga diberikan massa tambahan sebagai variasi massa.

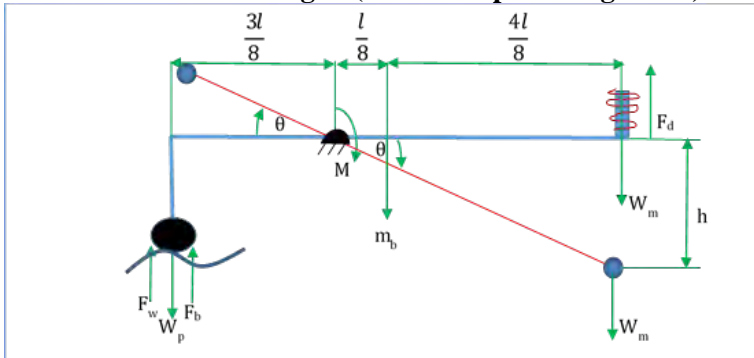


**Gambar 4.2** Data Percobaan pada *Oscilloscope*

Pengujian dan pengambilan data dilakukan dengan menggunakan *Oscilloscope*. Hasil dari *Oscilloscope* akan menunjukkan nilai dari voltase atau daya bangkitan yang dihasilkan pada simulator Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Tipe Pengungkit. Data yang dihasilkan di *Oscilloscope* tidak berupa voltase efektifnya ( RMS ) sehingga dilaksanakan proses *smoothing* dan *filtering* yang dilakukan menggunakan software Matlab, karena adanya gangguan (*noise*) saat pengambilan data.

## 4.2 Analisa Teoritis

### 4.2.1 Contoh Perhitungan (Titik Tumpu 1 dengan $m_1$ )



**Gambar 4.3** Analisa Gaya pada Mekanisme

Diketahui :

Massa Pelampung ( $m_p$ )	= 0.363 kg
Massa Lengan ( $m_b$ )	= 0.612 kg
Panjang Lengan ( $l$ )	= 0.5 m
Frekuensi Inverter ( $F$ )	= 13 Hz
Frekuensi Gelombang	= 1,3 Hz
Periode Gelombang ( $T$ )	= 0.769 sekon
Tinggi Gelombang ( $H$ )	= 0.07 m
Panjang Gelombang ( $\lambda$ )	= 1 m
Massa Jenis ( $\rho$ )	= 1000 kg/m <sup>3</sup>
Percepatan Gravitasi ( $g$ )	= 9,81 kg m/s <sup>2</sup>
Massa Magnet ( $m_m$ )	= 0.2 kg
Kuat Medan Magnet ( $B$ )	= 0.5 Wb/m <sup>2</sup>
Panjang Kawat Kumparan ( $L$ )	= 188,4 m
Hambatan Kawat Kumparan ( $R$ )	= 100,8 ohm

Maka daya yang dihasilkan adalah :

a. Mencari Gaya Gelombang

$$\begin{aligned}
 F_w &= \frac{\rho_f \cdot g^2 \cdot H^2 \cdot T^2}{32\pi\lambda} \\
 &= \frac{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 96.2361 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)^2 \times 0.0049 \text{m}^2 \times 0.5625 \text{s}^2}{32 \times 3.14 \times 1.08} \\
 &= 2,7753 \text{ N}
 \end{aligned}$$



- b. Mencari Frekuensi Natural Gelombang

$$\begin{aligned}\omega_f &= 2 \cdot \pi \cdot f \\ &= 2 \times 3.14 \times 1.3 \\ &= 8,164 \text{ rad/s}\end{aligned}$$

- c. Mencari Electric Damping

$$\begin{aligned}C_e &= \frac{B^2 \cdot L^2}{R} \\ &= \frac{(0,5 \text{ Wb/m}^2)^2 \cdot (188,4 \text{ m})^2}{100,8 \text{ ohm}} \\ &= 88,0321 \text{ kg/s}\end{aligned}$$

- d. Mencari Massa Ekvivalen

$$\begin{aligned}M_{eq} &= \left[ \frac{2m_b}{15} + \frac{m_b}{40} + \frac{9m_p}{40} + \frac{5m_m}{8} \right] l \\ &= \left[ \frac{2 \times 0.612 \text{ kg}}{15} + \frac{0.612 \text{ kg}}{40} + \frac{9 \times 0.363 \text{ kg}}{40} + \frac{5 \times 0.2 \text{ kg}}{8} \right] 0.5 \text{ m} \\ &= 0,1155 \text{ kg}\end{aligned}$$

- e. Mencari Damping Ekvivalen

$$\begin{aligned}C_{eq} &= \left( \frac{B^2 \cdot L^2}{R} \right) \frac{5l}{8} \\ &= \left( \frac{(0.5 \text{ Wb/m}^2)^2 \cdot 62,8 \text{ m}^2}{33,6 \text{ ohm}} \right) \frac{5 \cdot 0,5 \text{ m}}{8} \\ &= 27,510 \text{ kg.m/s}\end{aligned}$$

- f. Mencari Pegas Ekvivalen

$$\begin{aligned}K_{eq} &= \left( \frac{3}{5} m_p + m_m \right) g \\ &= \left( \frac{3}{5} 0.363 \text{ kg} + 0.2 \text{ kg} \right) 9.81 \text{ m/s}^2 \\ &= 4,0986 \text{ N}\end{aligned}$$

- g. Mencari Kecepatan Gerak Magnet

$$\begin{aligned}v &= \omega_f \frac{F_w}{\sqrt{(k_{eq} - m_{eq} \cdot \omega_f^2)^2 + (C_{eq} \cdot \omega_f)^2}} \cos \left( \omega_f \cdot t - \tan^{-1} \left( \frac{C_{eq} \cdot \omega_f}{k_{eq} - \omega_f^2} \right) \right) \\ &= 8,164 \text{ rad/s} \\ &\quad s \frac{1.416 \text{ N}}{\sqrt{(4.0986 - 0.1155 \cdot (8.164 \text{ rad/s})^2)^2 + (27.51 \cdot 8.164 \text{ rad/s})^2}} \cos \left( 8.164 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \cdot 0.769 \text{ s} - \right. \\ &\quad \left. \tan^{-1} \left( \frac{27.15 \cdot 8.164 \text{ rad/s}}{4.0986 - (8.164 \text{ rad/s})^2} \right) \right) \\ &= 0,0276 \text{ m/s}\end{aligned}$$



h. Mencari Voltage yang Dihasilkan

$$\begin{aligned}\varepsilon &= B.L.v \\ &= 0,5 \text{ Wb/m}^2 \cdot 188,4 \text{ m} \cdot 0,0141 \text{ m/s} \\ &= 2,5958 \text{ volt}\end{aligned}$$

i. Mencari Daya Listrik yang Dihasilkan

$$\begin{aligned}P &= \frac{1}{2} \left( \frac{B^2 L^2}{R} \right) v^2 \\ &= \frac{1}{2} \cdot 88,0321 \cdot (0,0141 \text{ m/s})^2 \\ &= 0,03342 \text{ watt}\end{aligned}$$

#### 4.2.2 Pengaruh Variasi Terhadap Energi Listrik

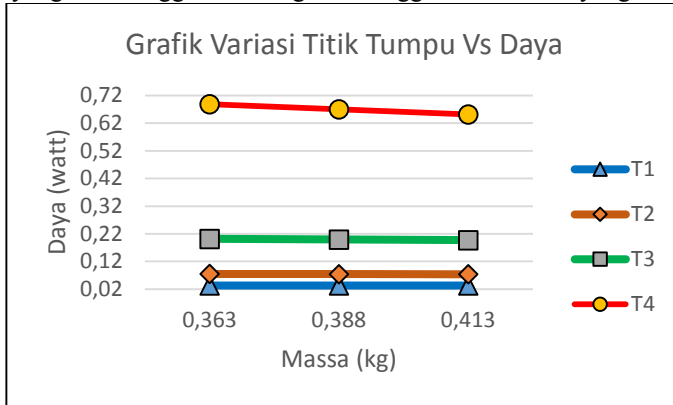
**Tabel 4.1** Tabel Daya Teoritis pengaruh Variasi

		Massa (kg)	Voltage (volt)	Daya (watt)
T1	m1	0,363	2,5958	0,03342
	m2	0,388	2,5902	0,03328
	m3	0,413	2,5847	0,03314
T2	m1	0,363	3,8798	0,07467
	m2	0,388	3,8659	0,07413
	m3	0,413	3,8520	0,07360
T3	m1	0,363	6,3759	0,20165
	m2	0,388	6,3371	0,19920
	m3	0,413	6,2980	0,19675
T4	m1	0,363	11,7794	0,68827
	m2	0,388	11,6195	0,66970
	m3	0,413	11,4579	0,65121

Pada Tabel 4.1 dan Gambar 4.4 dapat dilihat daya listrik yang dihasilkan dengan perhitungan teoritis, terlihat bahwa nilai daya yang dihasilkan secara teoritis paling rendah berada pada titik tumpu 1 (T1) dan terus mengalami kenaikan hingga paling tinggi ialah titik tumpu 4 (T4). Dengan kata lain daya listrik yang dihasilkan akan semakin naik apabila



titik tumpu semakin digeser mendekati magnet dan kumparan. Sementara untuk variasi massa dengan massa yang paling ringan akan menghasilkan daya yang lebih tinggi dibandingkan menggunakan massa yang berat.



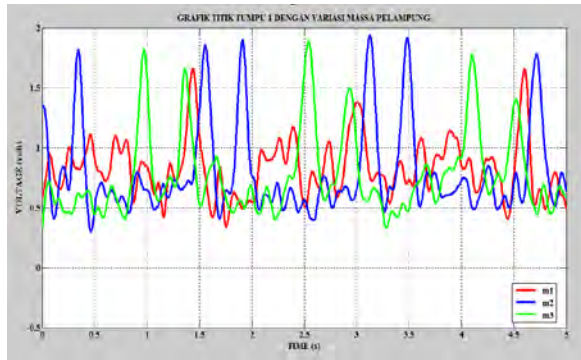
**Gambar 4.4** Grafik Daya Teoritis vs Variasi Titik Tumpu

### 4.3 Analisa Eksperimen

#### 4.3.1 Variasi Titik Tumpu 1 ( T1 )

Gambar 4.5 adalah grafik yang menunjukkan perubahan voltase yang terjadi selama 5 detik untuk variasi titik tumpu lengan 1 (T1) pada tiga pembebanan massa pelampung yang berbeda. Garis merah menunjukkan grafik perubahan pada massa pelampung 1 (m1) sebesar 0.363 kg, garis biru untuk massa pelampung 2 (m2) sebesar 0.388 kg dan, garis hijau untuk massa pelampung 3 (m3) sebesar 0.413 kg.

Pada gambar 4.5 dapat dilihat bahwa terjadi nilai amplitudo voltase yang dihasilkan oleh mekanisme PLTGL Tipe Pengungkit. Dimana jarak antara amplitudo itu berjauhan satu sama lain di masing-masing grafik variasi massa, sehingga menyerupai sebuah puncak. Hal ini dikarenakan pada saat titik tumpu 1 ini gerakan naik turun magnet sama dengan gerakan ombak (pengaruh momen inersia yang besar akibat jarak titik tumpu yang jauh dari magnet) sehingga menghasilkan kecepatan yang relatif lambat, oleh karena itu terjadi nilai amplitudo yang berjauhan menyerupai sebuah puncak.



**Gambar 4.5** Grafik Variasi Titik Tumpu (T1)

Dari grafik voltase fungsi waktu diatas didapatkan voltase RMS dari pengambilan data selama 5 detik untuk titik tumpu 1, dengan massa pelampung 0.363 kg, 0.388 kg, dan 0.413 kg didapatkan voltase RMS secara berurutan adalah 0.9550 volt, 0.9503 volt, dan 0.9109 volt.

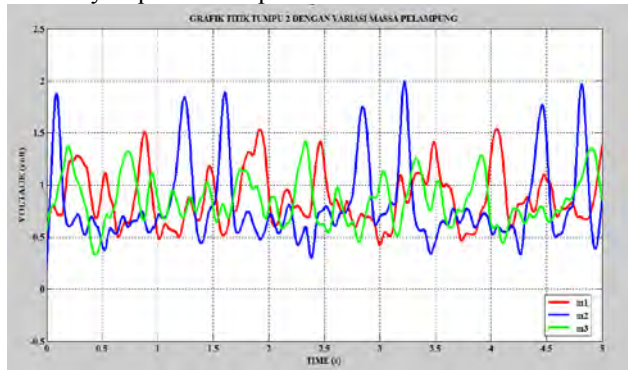
Dari grafik voltase yang dihasilkan, untuk titik tumpu yang sama, dan massa pelampung yang berbeda maka voltase yang terbesar dicapai pada massa pelampung 0.363 kg (m1) yaitu sebesar 0.9550 volt. Hal ini terjadi karena semakin ringan massa pelampung maka kecepatan gerak pengungkit akan semakin cepat sehingga voltase yang dihasilkan akan semakin besar. Hal ini didukung dengan persamaan  $E = B l v$ .

#### 4.3.2 Variasi Titik Tumpu 2 ( T2 )

Gambar 4.6 adalah grafik yang menunjukkan perubahan voltase yang terjadi selama 5 detik untuk variasi titik tumpu lengan 2 (T2) pada tiga pembebanan massa pelampung yang berbeda. Garis merah menunjukkan grafik perubahan pada massa pelampung 1 (m1) sebesar 0.363 kg, garis biru untuk massa pelampung 2 (m2) sebesar 0.388 kg dan, garis hijau untuk massa pelampung 3 (m3) sebesar 0.413 kg.

Pada gambar 4.6 dapat dilihat bahwa terjadi nilai amplitudo dari voltase yang dihasilkan oleh mekanisme PLTGL Tipe Pengungkit, dimana jarak antara amplitudo itu berjauhan satu sama lain di masing-masing grafik variasi massa, sehingga menyerupai sebuah puncak. Hal ini dikarenakan pada saat titik tumpu 2 ini gerakan naik turun magnet sama dengan gerakan ombak (pengaruh momen inersia yang besar akibat jarak titik tumpu yang jauh dari magnet) sehingga menghasilkan

kecepatan yang relatif lambat, oleh karena itu terjadi nilai amplitudo yang berjauhan menyerupai sebuah puncak.



**Gambar 4.6** Grafik Variasi Titik Tumpu (T2)

Dari grafik voltase fungsi waktu diatas didapatkan voltase RMS dari pengambilan data selama 5 detik untuk titik tumpu 2, dengan massa pelampung 0.363 kg, 0.388 kg, dan 0.413 kg didapatkan voltase RMS secara berurutan adalah 0.9792 volt, 0.9612 volt, dan 0.9573 volt.

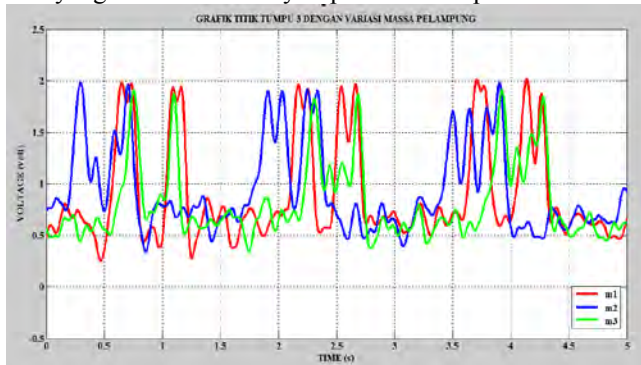
Dari grafik voltase yang dihasilkan, untuk titik tumpu yang sama, dan massa pelampung yang berbeda maka voltase yang terbesar dicapai pada massa pelampung 0.363 kg (m1) yaitu sebesar 0.9792 volt. Hal ini terjadi karena semakin ringan massa pelampung maka kecepatan gerak pengungkit akan semakin cepat sehingga voltase yang dihasilkan akan semakin besar. Hal ini didukung dengan persamaan  $E = B l v$ .

#### 4.3.3 Variasi Titik Tumpu 3 ( T3 )

Gambar 4.7 adalah grafik yang menunjukkan perubahan voltase yang terjadi selama 5 detik untuk variasi titik tumpu lengan 3 (T3) pada tiga pembebanan massa pelampung yang berbeda. Garis merah menunjukkan grafik perubahan pada massa pelampung 1 (m1) sebesar 0.363 kg, garis biru untuk massa pelampung 2 (m2) sebesar 0.388 kg dan, garis hijau untuk massa pelampung 3 (m3) sebesar 0.413 kg.

Pada gambar 4.7 dapat dilihat bahwa terjadi nilai amplitudo dari voltase yang dihasilkan oleh mekanisme PLTGL Tipe Pengungkit, dimana jarak antara amplitudo itu berdekatan satu sama lain di masing-masing grafik variasi massa, sehingga menyerupai dua buah puncak. Hal ini dikarenakan pada saat titik tumpu 3 ini gerakan naik turun magnet

lebih cepat dibanding gerakan ombak (pengaruh momen inersia yang kecil akibat jarak titik tumpu yang dekat dari magnet) sehingga menghasilkan kecepatan yang relatif cepat, oleh karena itu terjadi nilai amplitudo yang berdekatan menyerupai dua buah puncak.



**Gambar 4.7** Grafik Variasi Titik Tumpu (T3)

Dari grafik voltase fungsi waktu diatas didapatkan voltase RMS dari pengambilan data selama 5 detik untuk titik tumpu 3, dengan massa pelampung 0.363 kg, 0.388 kg, dan 0.413 kg didapatkan voltase RMS secara berurutan adalah 1.0992 volt, 1.0962 volt, dan 0.9823 volt.

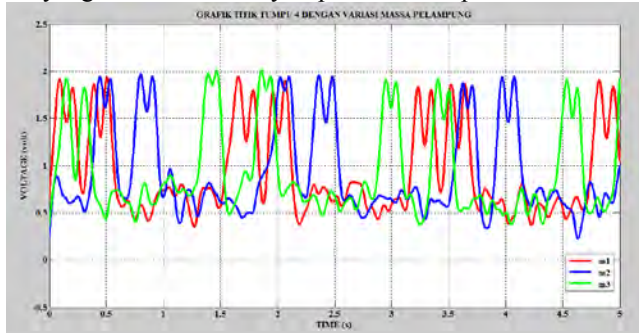
Dari grafik voltase yang dihasilkan, untuk titik tumpu yang sama, dan massa pelampung yang berbeda maka voltase yang terbesar dicapai pada massa pelampung 0.363 kg ( $m_1$ ) yaitu sebesar 1.0992 volt. Hal ini terjadi karena semakin ringan massa pelampung maka kecepatan gerak pengungkit akan semakin cepat sehingga voltase yang dihasilkan akan semakin besar. Hal ini didukung dengan persamaan  $E = B l v$ .

#### 4.3.4 Variasi Titik Tumpu 4 ( T4 )

Gambar 4.8 adalah grafik yang menunjukkan perubahan voltase yang terjadi selama 5 detik untuk variasi titik tumpu lengan 4 ( $T_4$ ) pada tiga pembebanan massa pelampung yang berbeda. Garis merah menunjukkan grafik perubahan pada massa pelampung 1 ( $m_1$ ) sebesar 0.363 kg, garis biru untuk massa pelampung 2 ( $m_2$ ) sebesar 0.388 kg dan, garis hijau untuk massa pelampung 3 ( $m_3$ ) sebesar 0.413 kg.

Pada gambar 4.7 dapat dilihat bahwa terjadi nilai amplitudo dari voltase yang dihasilkan oleh mekanisme PLTGL Tipe Pengungkit, dimana jarak antara amplitudo itu berdekatan satu sama lain di masing-

masing grafik variasi massa, sehingga menyerupai dua buah puncak. Hal ini dikarenakan pada saat titik tumpu 4 ini gerakan naik turun magnet lebih cepat dibanding gerakan ombak (pengaruh momen inersia yang kecil akibat jarak titik tumpu yang dekat dari magnet) sehingga menghasilkan kecepatan yang relatif cepat, oleh karena itu terjadi nilai amplitudo yang berdekatan menyerupai dua buah puncak.



**Gambar 4.8** Grafik Variasi Titik Tumpu (T4)

Dari grafik voltase fungsi waktu diatas didapatkan voltase RMS dari pengambilan data selama 5 detik untuk titik tumpu 3, dengan massa pelampung 0.363 kg, 0.388 kg, dan 0.413 kg didapatkan voltase RMS secara berurutan adalah 1.1321 volt, 1.1078 volt, dan 1.1051 volt.

Dari grafik voltase yang dihasilkan, untuk titik tumpu yang sama, dan massa pelampung yang berbeda maka voltase yang terbesar dicapai pada massa pelampung 0.363 kg (m1) yaitu sebesar 1.1321 volt. Hal ini terjadi karena semakin ringan massa pelampung maka kecepatan gerak pengungkit akan semakin cepat sehingga voltase yang dihasilkan akan semakin besar. Hal ini didukung dengan persamaan  $E = B l v$ .

#### 4.3.5 Analisa Data Variasi Titik Tumpu dan Massa Pelampung

Dari hasil pengambilan data diatas akan diolah keterkaitan atau hubungan antara parameter yang divariasikan terhadap energi listrik yang dihasilkan oleh mekanisme pembangkit listrik tenaga gelombang laut sitem pengungkit ( PLTGL –SP ). Berikut adalah grafik hubungan antara jumlah pengungkit dengan energi listrik (tegangan) untuk variasi titik tumpu dan massa pelampung.

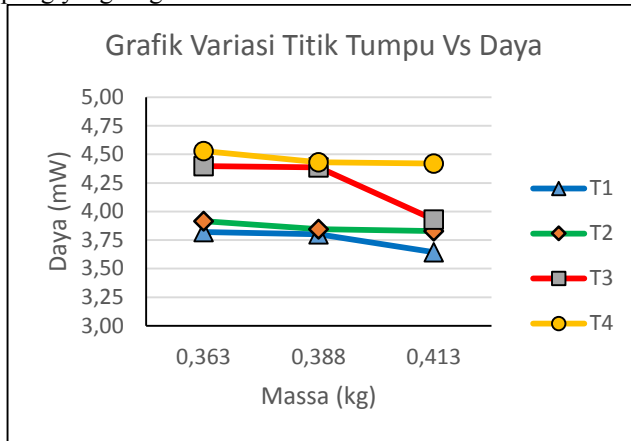
**Tabel 4.2** Tabel Data Eksperimen Variasi Titik Tumpu dan Massa Pelampung

		Massa (kg)	Voltage RMS (volt)	Daya (mW)
T1	m1	0,363	0,9550	3,8201
	m2	0,388	0,9503	3,8010
	m3	0,413	0,9109	3,6437
T2	m1	0,363	0,9792	3,9166
	m2	0,388	0,9612	3,8447
	m3	0,413	0,9573	3,8291
T3	m1	0,363	1,0992	4,3970
	m2	0,388	1,0962	4,3850
	m3	0,413	0,9823	3,9291
T4	m1	0,363	1,1321	4,5283
	m2	0,388	1,1078	4,4312
	m3	0,413	1,1051	4,4205

Tabel 4.2 merupakan tabel data eksperimen variasi titik tumpu dan massa pelampung yang didapat dari hasil pengambilan data. Nilai dari daya didapat dari hasil pengalihan dengan nilai arus yang dihasilkan saat pengambilan data yaitu sebesar 4 mA. Dari data tersebut kemudian dijadikan grafik seperti pada gambar 4.9. Dari grafik dibawah dapat menunjukkan bahwa nilai volt RMS terbesar adalah pada titik tumpu 4 dengan massa pelampung 1 yakni sebesar 1,1321 volt dan nilai terkecil pada titik tumpu 1 dengan massa pelampung 3 sebesar 0,9109 volt., trendline keempat garis naik seiring dengan bergesernya titik tumpu mendekati magnet dan nilai RMS turun dengan penambahan beban pada pelampung.

Hal ini dikarenakan semakin ringan massa pelampung maka kecepatan gerak pengungkit akan semakin cepat, kemudian semakin dekat titik tumpuan ke arah magnet maka gerakan naik turun magnet akan lebih cepat dibanding gerakan ombak (pengaruh momen inersia yang kecil akibat jarak titik tumpu yang dekat dari magnet) sehingga menghasilkan kecepatan yang relatif cepat. Semakin cepat gerakan naik turun magnet maka voltase yang dihasilkan akan semakin besar sesuai

dengan persamaan  $E = B l v$ . Sehingga dapat diambil kesimpulan bahwa nilai volt RMS akan meningkat dengan cara menempatkan titik tumpu lengan pengungkit dekat dengan magnet dan menggunakan massa pelampung yang ringan.



**Gambar 4.9** Grafik Daya Eksperimen Vs Variasi Titik Tumpu

#### 4.4 Perbandingan Eksperimen dan Teoritis

Untuk mengetahui kinerja dari mekanisme Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut – Tipe Pengungkit maka dilakukan sebuah analisa dengan tabel perbandingan eksperiment vs teoritis. Pada tabel dibandingkan daya yang dihitung secara teoritis dibandingkan dengan daya hasil pengambilan data ( praktikum ) dalam satuan miliwatt. Dengan mengamati grafik tersebut dapat diketahui seberapa besar penyimpangan (error) dari mekanisme PLTGL ini. Error ini dapat dijadikan bahan pertimbangan untuk menentukan variasi yang diberikan yang memberikan *losses* atau kehilangan daya yang paling besar. Sehingga dapat ditentukan nilai mekanisme yang dapat memberikan daya terbesar.



#### 4.4.1 Daya Eksperimen vs Daya Teoritis

**Tabel 4.3** Tabel Data Teoritis vs Eksperimen

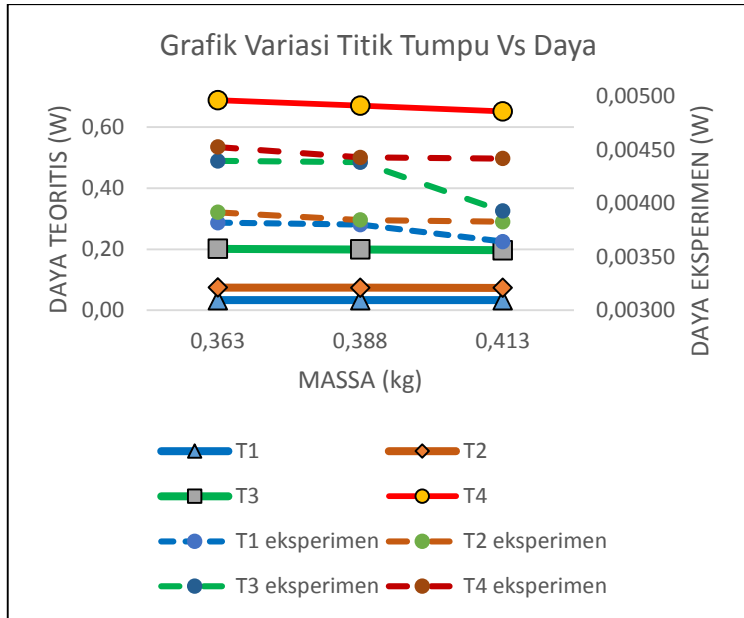
		Massa (kg)	Daya Teoritis (watt)	Daya Eksperimen (watt)
T1	m1	0,363	0,03342	0,00382
	m2	0,388	0,03328	0,00380
	m3	0,413	0,03314	0,00364
T2	m1	0,363	0,07467	0,00392
	m2	0,388	0,07413	0,00384
	m3	0,413	0,07360	0,00383
T3	m1	0,363	0,20165	0,00440
	m2	0,388	0,19920	0,00438
	m3	0,413	0,19675	0,00393
T4	m1	0,363	0,68827	0,00453
	m2	0,388	0,66970	0,00443
	m3	0,413	0,65121	0,00442

Tabel 4.3 menunjukkan perbandingan antara daya teoritis dan daya yang didapatkan ( Eksperimen ) akibat pengaruh variasi titik tumpu dan massa pelampung. Kemudian dibandingkan antara daya teoritis dan eksperimen untuk mendapatkan besarnya penyimpangan yang terjadi.

Nilai error yang besar dikarenakan daya yang diberikan oleh gelombang laut tidak dapat diteruskan secara baik dikarenakan terdapat *losses* disetiap mekanisme. Kehilangan daya terjadi di mekanisme pengungkit. Akibat pengungkit yang berat maka gerakan naik turun magnet tidak ideal sehingga magnet tidak memotong keseluruhan dari kumparan.

Error yang besar juga terjadi pada kedudukan kumparan dimana kedudukan tersebut selalu bergerak ketika magnet memasuki kumparan sehingga posisinya bergeser dan membuat magnet dan kumparan tidak lurus atau membentuk sudut.





Gambar 4.10 Grafik Perbandingan Daya Teoritis Vs Daya Eksperimen

Gambar 4.10 menggambarkan grafik perbandingan antara daya teoritis dan daya eksperimen, dimana trendline garis menurun seiring bertambah berat massa pelampung. Hal ini terjadi karena semakin berat massa pelampung maka kecepatan gerak pengungkit akan semakin lambat sehingga voltase dan daya yang dihasilkan akan semakin kecil sesuai dengan persamaan  $E = B l v$ . Sementara untuk daya yang dihasilkan baik secara teoritis maupun eksperimen akan menghasilkan nilai daya terbesar pada titik tumpu ini terdekat dengan magnet atau titik tumpu 4 (T4), dan nilainya semakin turun berurutan sampai titik tumpu 1 (T1). Hal ini dikarenakan pengaruh momen inersia yang akan semakin kecil jika jarak titik tumpu dekat dengan magnet sehingga menghasilkan kecepatan naik turun magnet yang relatif cepat, kecepatan ini berbanding lurus dengan nilai voltase dan daya yang dihasilkan



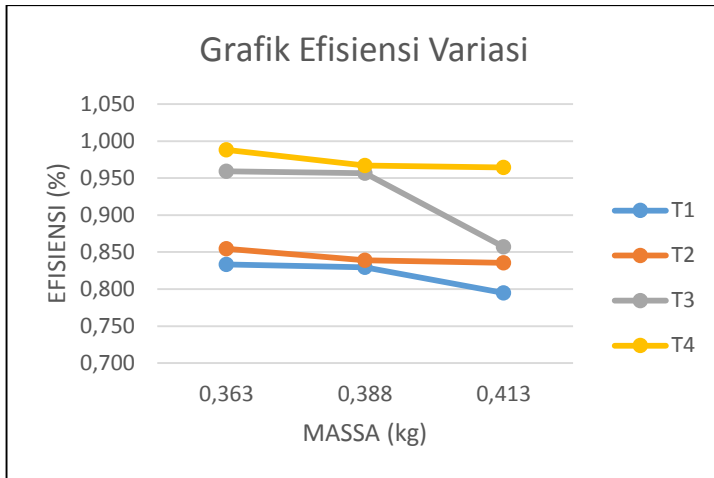
#### 4.5 Efisiensi Mekanisme

Untuk mengetahui efisiensi dari mekanisme Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Tipe Pengungkit maka dilakukan sebuah analisa dengan grafik efisiensi. Dimana dengan mengetahui efisiensi mekanisme maka dapat dilakukan analisa lebih lanjut tentang upaya perbaikan dari mekanisme PLTGL Tipe Pengungkit.

**Tabel 4.4** Tabel Data Efisiensi Variasi

		Massa (kg)	Daya Ombak (watt)	Daya Eksperimen (watt)	Efisiensi (%)
T1	m1	0,363	0,4583	0,00382	0,833
	m2	0,388	0,4583	0,00380	0,829
	m3	0,413	0,4583	0,00364	0,795
T2	m1	0,363	0,4583	0,00392	0,855
	m2	0,388	0,4583	0,00384	0,839
	m3	0,413	0,4583	0,00383	0,835
T3	m1	0,363	0,4583	0,00440	0,959
	m2	0,388	0,4583	0,00438	0,957
	m3	0,413	0,4583	0,00393	0,857
T4	m1	0,363	0,4583	0,00453	0,988
	m2	0,388	0,4583	0,00443	0,967
	m3	0,413	0,4583	0,00442	0,964

Pada Tabel 4.4 dapat dilihat perbandingan daya yang diberikan ( $P_{\text{wave}}$ ) dengan daya hasil pengambilan data (praktikum) dalam satuan watt. Efisiensi dapat dihitung dengan cara membagi nilai daya secara praktikum terhadap daya yang diberikan ( $P_{\text{wave}}$ ), dikalikan dengan seratus persen.



**Gambar 4.11** Grafik Perbandingan Effisiensi Variasi

Gambar 4.11 menggambarkan grafik efisiensi variasi titik tumpu dan massa pelampung dimana titik tumpu yang terdekat dengan magnet dan dengan massa pelampung yang ringan maka semakin besar daya yang dihasilkan. Dimana efisiensi terbesar pada titik tumpu 4 dengan massa pelampung 0,363 kg yaitu 0,988 % dan efisiensi terkecil pada titik tumpu 1 dan massa pelampung 0,413 kg yaitu sebesar 0,795 %. Nilai efisiensi didapatkan dari yaitu pembagian daya eksperimen dibagi dengan daya dari ombak dikalikan seratus persen. Nilai efisiensi yang diperoleh sangat kecil dikarenakan nilai error atau *losses* pada mekanisme sangat besar. Daya gelombang laut didapatkan dari persamaan  $\frac{\rho \cdot g^2 \cdot H^2 \cdot T \cdot b}{32\pi}$ , sehingga nilai  $P_{\text{wave}}$  yang digunakan sebesar 0,4583 watt.

#### 4.6 Skala Mekanisme

Dari efisiensi mekanisme dapat dihitung daya yang dihasilkan ketika mekanisme diletakkan pada laut lepas. Berdasarkan Froude's Scale law bahwa dalam proses skala mekanisme perlu diperhatikan gelombang laut tempat mekanisme ini akan dipasang. Gelombang yang cocok ditempatkan di pantai utara pulau Jawa, dimana memiliki tinggi gelombang 1-2.5 meter.

Tabel 4.5 Tabel Skala Mekanisme



Skala	Tinggi Gelombang (m)	Massa Pelampung (kg)	Panjang Lengan (m)	Daya (watt)
1 : 1	0,07	0,363	0,5	0,00453
15 : 1	1	5,445	7,5	567,7623
35 : 1	2,5	12,7050	17,5	8279,8675

Dapat terlihat di Tabel 4.5, pada skala 15 : 1 dengan tinggi gelombang 1 meter diharapkan mekanisme ini menghasilkan daya sebesar 567,7623 watt, dengan massa pelampung 5,445 kg dan panjang lengan 7,5 meter. Untuk skala 35 : 1 dengan tinggi gelombang 2,5 meter diharapkan mekanisme menghasilkan daya sebesar 8279,8675 watt dengan massa pelampung 12,705 kg dan panjang lengan 17,5 meter.



**[Halaman ini sengaja dikosongkan]**



## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Dari analisa dan pembahasan pada PLTGL Tipe Pengungkit dengan variasi titik tumpu dan massa pelampung didapat kesimpulan sebagai berikut :

1. Nilai daya akan meningkat seiring dengan bergesernya titik tumpu mendekati magnet dan kumparan pada mekanisme PLTGL Tipe Pengungkit. Hal ini dikarenakan pengaruh momen inersia yang akan semakin kecil jika jarak titik tumpu dekat dengan magnet sehingga menghasilkan kecepatan naik turun magnet yang relatif cepat, kecepatan ini berbanding lurus dengan nilai voltase dan daya yang dihasilkan.
2. Nilai daya akan meningkat seiring berkurangnya massa pelampung pada mekanisme PLTGL Tipe Pengungkit. Hal ini terjadi karena semakin ringan massa pelampung maka kecepatan gerak pengungkit akan semakin cepat sehingga voltase dan daya yang dihasilkan akan semakin besar.
3. Nilai daya terbesar ialah pada titik tumpu 4 dengan massa pelampung 0,363 kg yaitu sebesar 4,5283 mW dan daya terkecil pada titik tumpu 1 dengan massa pelampung 0,413 kg yaitu 3,6437 mW .
4. Effisiensi mekanisme terbesar terjadi pada titik tumpu 4 dengan massa pelampung 0,363 kg yaitu sebesar 0,988 % dan effisiensi terkecil pada titik tumpu 1 dengan massa pelampung 0,413 kg yakni sebesar 0,795 %.

### 5.2 Saran

1. Pemilihan material dari pengungkit yang lebih ringan
2. Pemanfaatan gerakan turun mekanisme sehingga daya yang dihasilkan lebih besar.
3. Menggunakan massa pelampung yang lebih ringan.
4. Dudukan kumparan yang lebih presisi lagi
5. Simulator pembuat gelombang memiliki peredam yang lebih baik, sehingga mencegah gelombang balik dan pengamatan dapat dilakukan lebih lama.



\

**[Halaman ini sengaja dikosongkan]**

## Lampiran A Perhitungan Teoritis

### A.1 Perhitungan teoritis pada titik tumpu 1

BATANG									
P	$L_{\text{besar}}$	$T_{\text{besar}}$	$L_{\text{kecil}}$	$T_{\text{kecil}}$	$V_{\text{besar}}$	$V_{\text{kecil}}$	$V_{\text{batang}}$	$\rho_{\text{Al}}$	$m_{\text{batang}}$
0,5	0,05	0,025	0,044	0,022	0,000625	0,000484	0,000141	2700	0,612
PELAMPUNG									
$D_{\text{tuar}}$	$D_{\text{dalam}}$	$V_{\text{tuar}}$	$V_{\text{dalam}}$	V	$\rho_{\text{plastik}}$	m			
0,127	0,12446	0,001072	0,001009	6,304E-05	850	0,3630			
						0,388			
						0,413			
MAGNET									
m	B								
0,2	0,5								
KAWAT									
$\rho_{\text{tembaga}}$	D	A	N	$D_{\text{tabung}}$	l	R			
1,68E-08	2,0E-04	3,14E-08	3000	0,02	188,4	100,8			
ELECTRIC DAMPING									
	88,0321								
GAYA OMBAK									
$\rho_{\text{air}}$	g	H	$\lambda$	T	f	Fw	$\omega f$		
1000	9,81	0,07	1	0,769	1,3	2,7753	8,1640		
$m_{\text{eq}}$	$c_{\text{eq}}$	$k_{\text{eq}}$	$\omega n$	v		e	p		
0,1155	27,510	4,0986	5,9573	0,0276		2,5958	0,03342		
0,1158		4,2458	6,0551	0,027497		2,5902	0,03328		
0,1161		4,3929	6,1509	0,027438		2,5847	0,03314		



## A.2 Perhitungan teoritis pada titik tumpu 2

BATANG									
P	L <sub>besar</sub>	T <sub>besar</sub>	L <sub>kecil</sub>	T <sub>kecil</sub>	V <sub>besar</sub>	V <sub>kecil</sub>	V <sub>batang</sub>	ρ <sub>Al</sub>	m <sub>batang</sub>
0,5	0,05	0,025	0,044	0,022	0,000625	0,000484	0,000141	2700	0,612
PELAMPUNG									
D <sub>luar</sub>	D <sub>dalam</sub>	V <sub>luar</sub>	V <sub>dalam</sub>	V	ρ <sub>plastik</sub>	m			
0,127	0,12446	0,001072	0,001009	6,304E-05	850	0,3630			
						0,388			
						0,413			
MAGNET									
m	B								
0,2	0,5								
KAWAT									
ρ <sub>tembaga</sub>	D	A	N	D <sub>tabung</sub>	l	R			
1,68E-08	2,0E-04	3,14E-08	3000	0,02	188,4	100,8			
ELECTRIC DAMPING									
88,0321									
GAYA OMBAK									
ρ <sub>air</sub>	g	H	λ	T	f	F <sub>w</sub>	ωf		
1000	9,81	0,07	1	0,769	1,3	2,7753	8,1640		
m <sub>eq</sub>	c <sub>eq</sub>	k <sub>eq</sub>	ωn	v			e	p	
0,1918	22,008	5,5230	5,3669	0,0412			3,8798	0,0747	
0,1980		5,7683	5,3975	0,041040			3,8659	0,0741	
0,2043		6,0135	5,4260	0,040892			3,8520	0,0736	

### A.3 Perhitungan teoritis pada titik tumpu 3

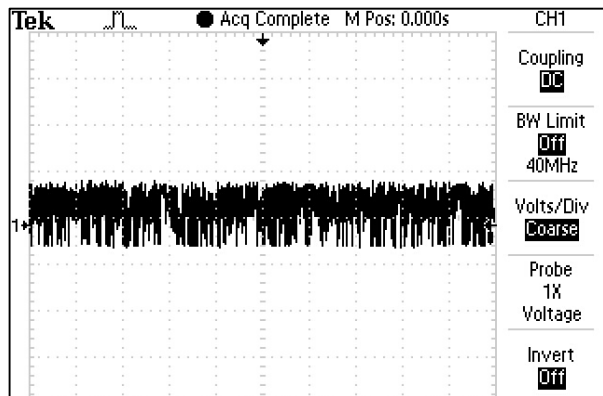
BATANG									
P	Lbesar	Tbesar	Lkecil	Tkecil	Vbesar	Vkecil	Vbatang	pAl	mbatang
0,5	0,05	0,025	0,044	0,022	0,000625	0,000484	0,000141	2700	0,612
PELAMPUNG									
Dluar	Ddalam	Vluar	Vdalam	V	pplastik	m			
0,127	0,12446	0,001072	0,001009	6,3E-05	850	0,3630			
						0,388			
						0,413			
MAGNET									
m	B								
0,2	0,5								
KAWAT									
ptembaga	D	A	N	Dtabung	l	R			
1,68E-08	0,0002	3,14E-08	3000	0,02	188,4	100,8			
ELECTRIC DAMPING									
	88,0321								
GAYA OMBAK									
pair	g	H	$\lambda$	T	f	Fw	$\omega f$		
1000	9,81	0,07	1	0,769	1,3	2,7753	8,1640		
meq	ceq	keq	$\omega n$	v		e	p		
0,3073	16,5060	7,8971	5,0692	0,0677		6,3759	0,2016		
0,3203		8,3058	5,0920	0,0673		6,3371	0,1992		
0,3334		8,7146	5,1129	0,0669		6,2980	0,1968		

## A.4 Perhitungan teoritis pada titik tumpu 4

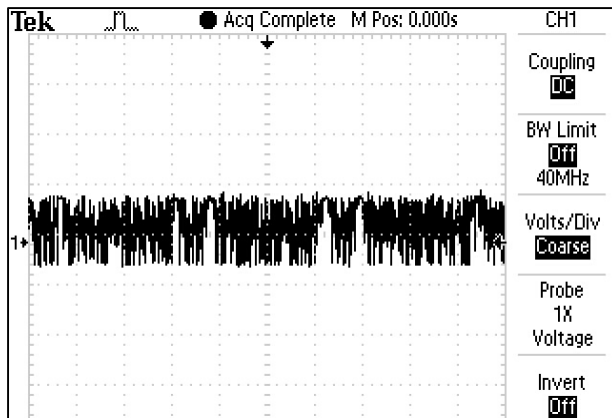
BATANG									
P	Lbesar	Tbesar	Lkecil	Tkecil	Vbesar	Vkecil	Vbatang	$\rho_{Al}$	mbatang
0,5	0,05	0,025	0,044	0,022	0,000625	0,000484	0,000141	2700	0,612
PELAMPUNG									
Dluar	Ddalam	Vluar	Vdalam	V	$\rho_{plastik}$	m			
0,127	0,12446	0,001072	0,001009	6,3E-05	850	0,3630			
						0,388			
						0,413			
MAGNET									
m	B								
0,2	0,5								
KAWAT									
$\rho_{tembaga}$	D	A	N	Dtabung	l	R			
1,68E-08	0,0002	3,14E-08	3000	0,02	188,4	100,8			
ELECTRIC DAMPING									
	88,0321								
GAYA OMBAK									
pair	g	H	$\lambda$	T	f	Fw	$\omega f$		
1000	9,81	0,07	1	0,769	1,3	2,7753	8,1640		
meq	ceq	keq	$\omega n$	v		e	p		
0,6119	11,0040	12,6451	4,5460	0,1250		11,7794	0,6883		
0,6400		13,3808	4,5725	0,1233		11,6195	0,6697		
0,6681		14,1166	4,5966	0,1216		11,4579	0,6512		

## Lampiran B Data *Oscilloscope* Eksperimen

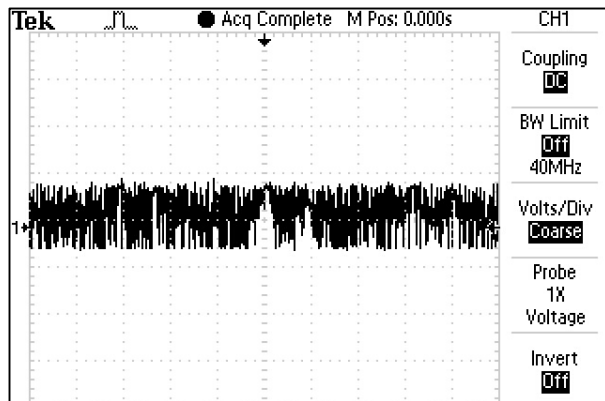
**B.1** Range voltase pada titik tumpu 1 untuk massa pelampung  $m_1 = 0.363$  Kg



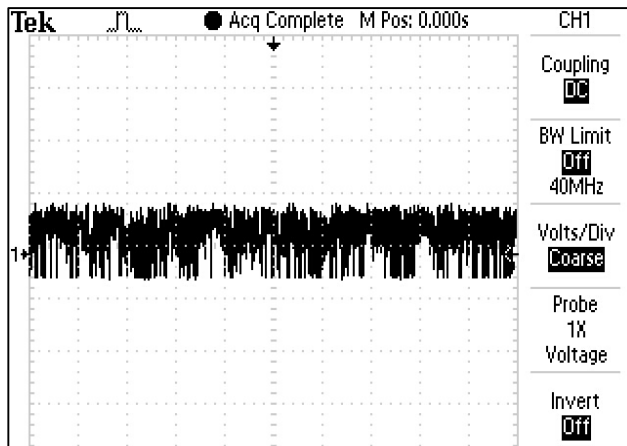
**B.2** Range voltase pada titik tumpu 1 untuk massa pelampung  $m_2 = 0.388$  Kg



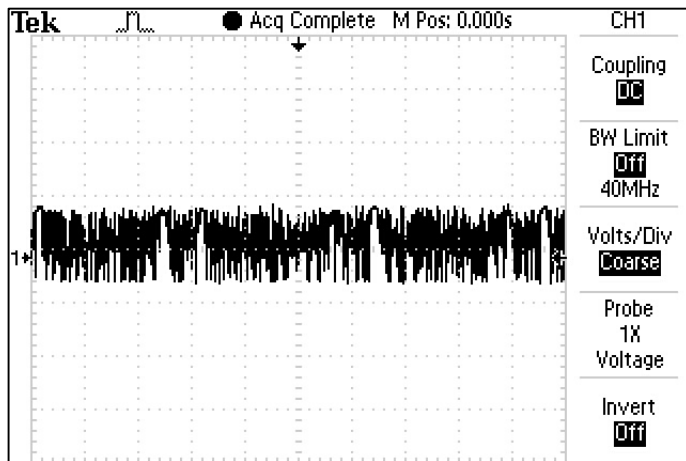
**B.3** Range voltase pada titik tumpu 1 untuk massa pelampung  $m_3 = 0.413$  Kg



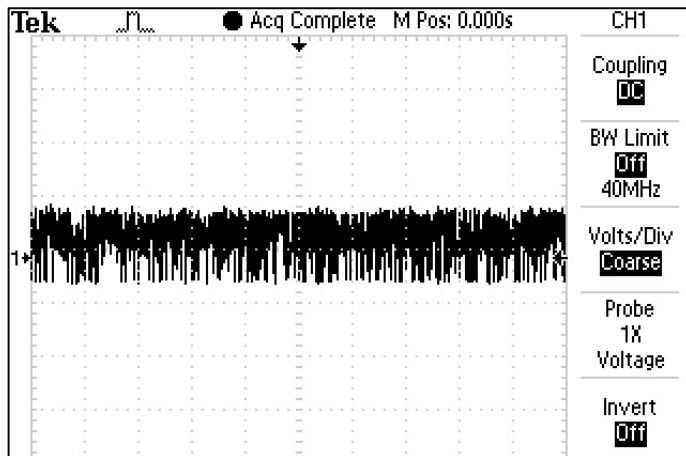
**B.4** Range voltase pada titik tumpu 2 untuk massa pelampung  $m_1 = 0.363$  Kg



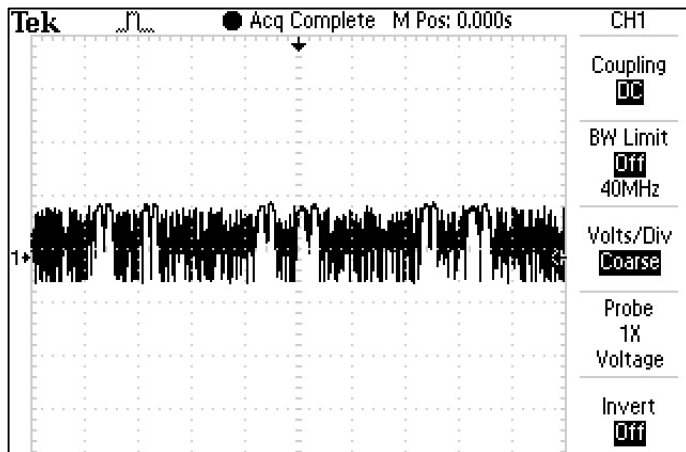
**B.5** Range voltase pada titik tumpu 2 untuk massa pelampung  $m_2 = 0.388$  Kg



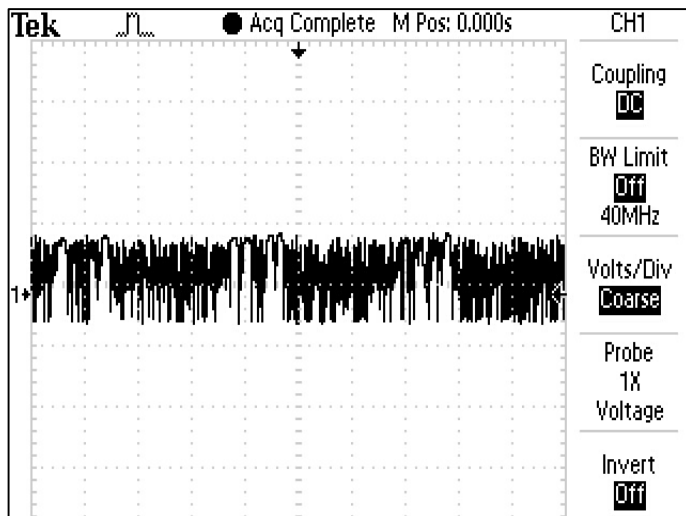
**B.6** Range voltase pada titik tumpu 2 untuk massa pelampung  $m_3 = 0.413$  Kg



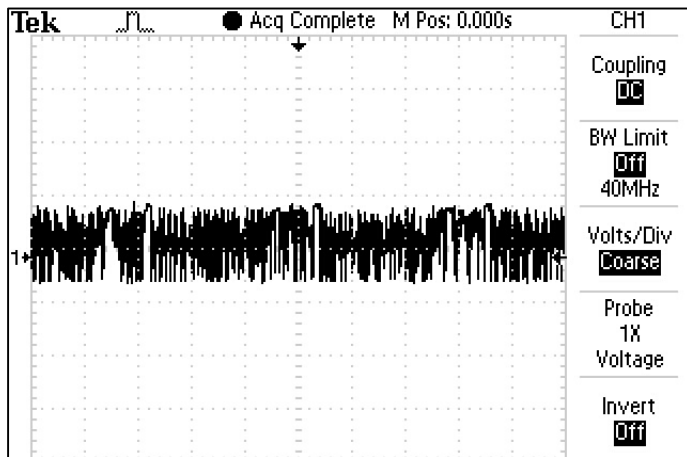
**B.7** Range voltase pada titik tumpu 3 untuk massa pelampung  $m_1 = 0.363$  Kg



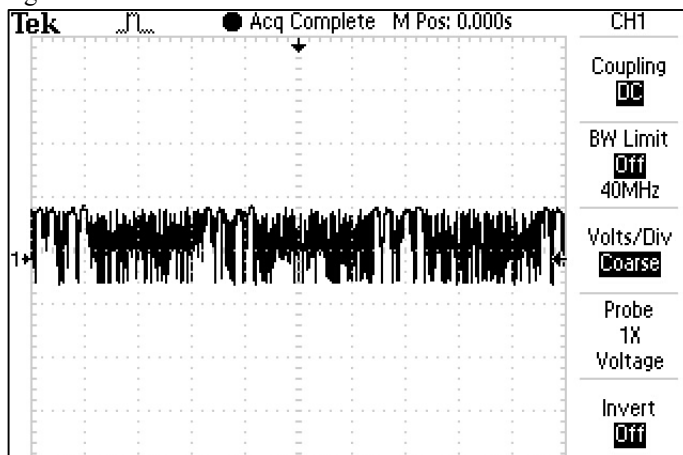
**B.8** Range voltase pada titik tumpu 3 untuk massa pelampung  $m_2 = 0.388$  Kg



**B.9** Range voltase pada titik tumpu 3 untuk massa pelampung  $m_3 = 0.413$  Kg

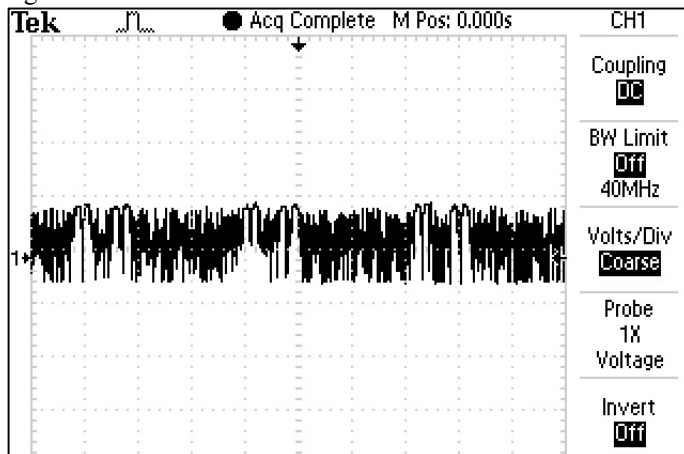


**B.10** Range voltase pada titik tumpu 4 untuk massa pelampung  $m_1 = 0.363$  Kg

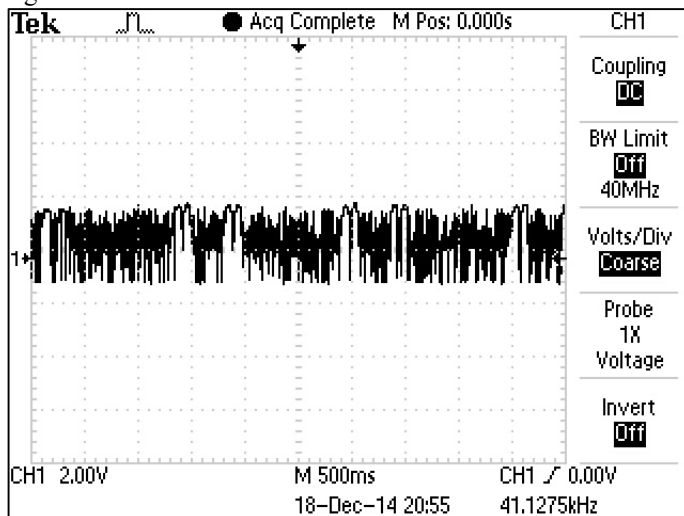




**B.11** Range voltase pada titik tumpu 4 untuk massa pelampung  $m_2 = 0.388 \text{ Kg}$



**B.12** Range voltase pada titik tumpu 4 untuk massa pelampung  $m_3 = 0.413 \text{ Kg}$



## DAFTAR PUSTAKA

- Khaligh, Alireza, dan Omar. 2010. **Energy Harvesting : Solar, Wind, and Ocean, Energy Conversion Systems**. New York: CRC Press.
- Kramer, Morten. 2006. **Status on the Wave Star Energy Converter Development**. Aalborg: Aalborg University.
- Kramer, Morten. 2006. **The wave Energy Converter Wave Star , A Multi Point Absorber System** . Aalborg: Aalborg University.
- Marquis, Kramer, dan Frigaard. 2011. **Performance Evaluation of The Wave Star Prototype**.Southampton: EWTEC Conference.
- Rao, R.S. 2011. **Mechanical Vibration,5th Edition**. New Jersey: Pearson Education.Inc.
- Anonim. 2013. **Definisi Gelombang Laut**. Diakses di <http://navale-engineering.blogspot.com/2013/02/definisi-gelombang-laut.html>.
- Anonim. 2011. **Hukum Archimedes**. Diakses di <http://fhanum.wordpress.com/2011/12/20/hukum-archimedes/#more-120.html>
- Anonim. 2013. **Proses Pembangkitan Gelombang Di Laut**. Diakses di <http://navale-engineering.blogspot.com/2013/02/proses-pembangkitan-gelombang-di-laut.html>, **Gelombang Laut - Sistem Bandulan (PLTGL - SB)**, <URL:[http://aseli.co/index.php?option=com\\_content&view=article&id=70:art-pltg-sb&catid=40:cat-article&Itemid=53](http://aseli.co/index.php?option=com_content&view=article&id=70:art-pltg-sb&catid=40:cat-article&Itemid=53)>.

**[Halaman ini sengaja dikosongkan]**

## **RIWAYAT HIDUP**



Arif Pradipta Maris dilahirkan di Cirebon pada tanggal 28 Maret 1991. Penulis merupakan putra pertama dari dua bersaudara pasangan Sutadi dan Tati Suhati. Penulis memulai pendidikan dasar di SDN 1 Cipeujeuh Wetan 1 dan lulus pada tahun 2003, lalu melanjutkan studi ke SMPN 1 Karang Sembung dan lulus pada tahun 2006, kemudian penulis melanjutkan studi ke SMA Negeri 2 Cirebon dan lulus pada tahun 2009. Setelah masa studi SMA selesai, penulis melanjutkan kuliah di Universitas Gadjah Mada (UGM) jurusan Diploma Teknik Mesin dan lulus pada tahun 2012. Pada tahun 2012 penulis melanjutkan program sarjana di jurusan Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) dan mengambil bidang studi Desain. Keinginan untuk selalu belajar dan mengamalkan ilmu yang didapat selama kuliah mendorong penulis untuk mengambil Tugas Akhir dengan judul “Studi Eksperimen Dan Analisa Energi Listrik Yang Dihasilkan Oleh Mekanisme Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Tipe Pengungkit Dengan Variasi Titik Tumpu Lengan Pengungkit Dan Massa Pelampung”. Penulis yang memiliki motto hidup “Hadapi Hidup dengan Senyuman” ini memiliki harapan agar ilmu yang telah didapatkan dapat berguna untuk agama dan negara. Selanjutnya penulis dapat dihubungi melalui email dibawah ini:

[arif.pradipta.maris@gmail.com](mailto:arif.pradipta.maris@gmail.com)